

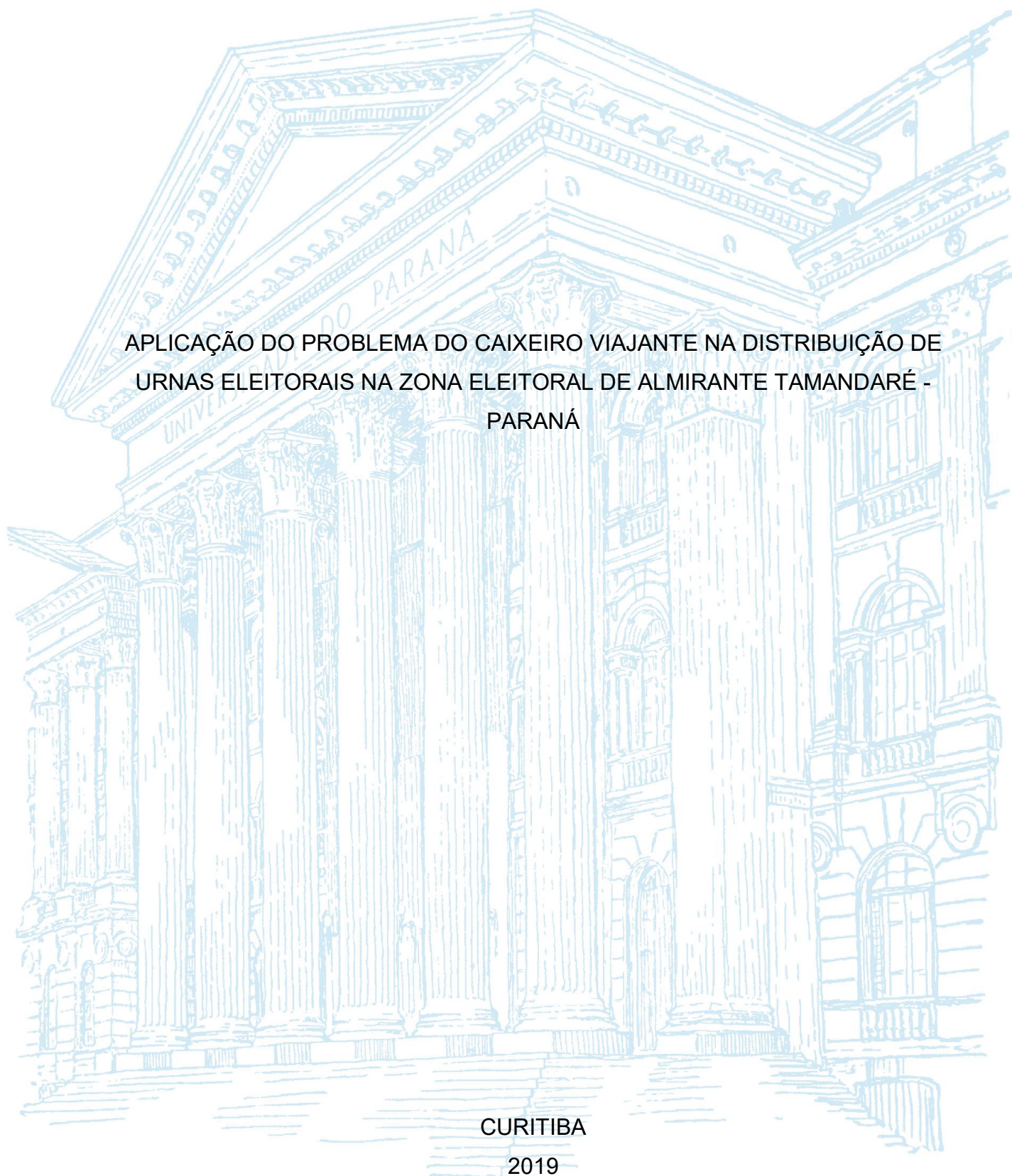
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO NASCIMENTO DE OLIVEIRA

APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NA DISTRIBUIÇÃO DE
URNAS ELEITORAIS NA ZONA ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ -
PARANÁ

CURITIBA

2019



GUSTAVO NASCIMENTO DE OLIVEIRA

APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NA DISTRIBUIÇÃO DE
URNAS ELEITORAIS NA ZONA ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ -
PARANÁ.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção de grau de
Bacharel no Curso de Gestão da Informação,
Departamento de Ciência e Gestão da Informação,
do Setor de Ciências Sociais Aplicadas, da
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Denise Fukumi Tsunoda

CURITIBA

2019

GUSTAVO NASCIMENTO DE OLIVEIRA

APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE NA DISTRIBUIÇÃO DE
URNAS ELEITORAIS NA ZONA ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ -
PARANÁ.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção de grau de Bacharel no Curso de Gestão da Informação, Departamento de Ciência e Gestão da Informação, do Setor de Ciências Sociais Aplicadas, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Denise Fukumi Tsunoda

Curitiba, 05 de dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Denise Fukumi Tsunoda

Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal, UFPR

Prof. Dr. Cícero Aparecido de Bezerra

Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal, UFPR

Prof. Dr. José Simão de Paula Pinto

Setor de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal, UFPR

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo incentivo em dar sequência nos estudos. Aos meus amigos, pelo apoio e companheirismo durante esta jornada. A ONG Em Ação, por tornar real o sonho do ensino superior.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Dr.^a Denise Fukumi Tsunoda pelo tempo e disposição empenhado nas orientações acadêmicas, tornando essa pesquisa possível.

Agradeço a ONG Em Ação por acreditar que com base na educação podemos mudar a nossa realidade, mudando a vida de jovens e adultos ao oferecer de forma gratuita o suporte necessário para o sonho do ensino superior.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná por proporcionar aprendizados e crescimento pessoal e profissional. Por permitir conhecer pessoas incríveis que levarei para toda vida.

Agradeço aos meus amigos que me apoiaram sempre que possível, compartilhando alegrias e tristezas.

Agradeço aos meus familiares que sempre me apoiaram, possibilitando a continuidade dos meus estudos e o sonho do ensino superior.

"Há apenas uma coisa que faz um sonho impossível de alcançar: o medo do fracasso." (Paulo Coelho)

RESUMO

Apresenta estudo de caso sobre aplicação do problema do caixeiro viajante na distribuição de urnas eleitorais na zona eleitoral da cidade de Almirante Tamandaré - Paraná. Objetiva-se na utilização e comparação de ferramentas com potencial de adequação para aplicação do problema caixeiro viajante, para otimização de rotas em distribuição de urnas eleitorais. Demonstra resultados com adoção da aplicação do problema do caixeiro viajante nas ferramentas Microsoft Excel com complemento solver, linguagem de programação Python com biblioteca Or-Tools e linguagem de programação R com API Google Distance Matrix. Elenca redução de mais de 60% nas rotas otimizadas com a ferramenta MS Excel, cerca de 55% com a linguagem de programação em Python e problemas enfrentados com a linguagem de programação em R. Destaca a ferramenta na linguagem de programação Python como provedora da melhor solução em comparação as outras ferramentas, possibilitando a otimização das rotas em vários veículos, assim como definições como: ponto de partida, chegada e configuração de máxima distância de cada veículo. Propõe para a continuidade do estudo com a efetiva adoção das ferramentas nas zonas eleitorais, a fim de melhorar a organização dos pleitos eleitorais, assim como aplicação do problema do caixeiro viajante com outras ferramentas não utilizadas, para obtenção de melhores resultados.

Palavras-chave: Problema do caixeiro viajante. Urna eleitoral. Roteirização.

ABSTRACT

Presents a case study on the application of the traveling salesman problem in the distribution of electronic urns on the electoral zone from Almirante Tamandaré city of state of Paraná. The objective here is to use and compare tools with the potential for adaptation to the application of the traveling salesman problem, also to optimize routes in the distribution of electronic urns. It demonstrates results by adopting the application of the algorithm in Microsoft Excel tools with solver complement, Python programming language with Or-Tools library and R programming language with Google Distance Matrix API. It list reduction of more than 60% in optimized routes with the MS Excel tool, about 55% with the programming language in Python and problems faced with the programming language in R. Highlights the tool in the programming language Python as the provider of the best solution compared to other tools, enabling the optimization of routes in various vehicles, as well as definitions such as: starting point, arrival and configuration of maximum distance from each vehicle. Proposes for the continuity of the study the effective implementation of the tools in the electoral zones, in order to improve the organization of electronic urns, as well as the application of the problem with other tools not used, to obtain better results.

Keywords: Travelling salesman problem. Electronic urn. Routing.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ÁREAS DE PESQUISA TRAVELING SALESMAN E ROUTING	15
FIGURA 2 – CICLO INFORMACIONAL	19
FIGURA 3 – MODELO PROCESSUAL DE ADMINISTRAÇÃO DA INFORMAÇÃO	20
FIGURA 4 - LINHA DO TEMPO UTILIZAÇÃO DE URNAS ELETRÔNICAS – 1996-2010	23
FIGURA 5 - EXEMPLO DE ROTA DO CAIXEIRO VIAJANTE	26
FIGURA 6 - CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	28
FIGURA 7 – VISUALIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DA DISTÂNCIA ENTRE ROTA DO CARTÓRIO PARA LOCAL DE VOTAÇÃO	31
FIGURA 8 - EXEMPLO MATRIZ DE DISTÂNCIA LOCAL 1 PARA LOCAL 2	31
FIGURA 9 - MATRIZ DE DISTÂNCIA COMPLETA.....	32
FIGURA 12 - ROTA NÃO OTIMIZADA MICROSOFT EXCEL	36
FIGURA 13 - UTILIZAÇÃO FUNÇÃO ÍNDICE NO MICROSOFT EXCEL	37
FIGURA 14 - SOMA DAS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS MICROSOFT EXCEL	37
FIGURA 15 - ROTA NÃO OTIMIZADA E ROTA A SER OTIMIZADA	38
FIGURA 16 – CONFIGURAÇÃO PARÂMETROS SOLVER MS EXCEL	39
FIGURA 18 – CONFIGURAÇÃO DE VARIÁVEIS DA SOLUÇÃO EM PYTHON	41
FIGURA 19 - SOLUÇÃO APRESENTADA PELA PROGRAMAÇÃO EM PYTHON.	42
FIGURA 20 - ROTA OTIMIZADA EM PYTHON EM VISUALIZAÇÃO NO BING MAPS	44
FIGURA 21 - ROTA OTIMIZADA PELO MS EXCEL	47
FIGURA 21 - REQUISIÇÕES API GOOGLE.....	50
FIGURA 22 - CUSTOS UTILIZAÇÃO API	50
FIGURA 23 - RELATÓRIO DE FATURAMENTO E PROJEÇÃO GOOGLE CLOUD PLATAFORM	51

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – DIFERENÇA ENTRE DADO, INFORMAÇÃO E CONHECIMENTO (Continua).....	17
QUADRO 2 – METODOLOGIAS PARA SOLUÇÃO DO PCV (Continua)	27
QUADRO 3 - DESCRIÇÃO DA BASE UTILIZADA	30
QUADRO 4 – PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS	33
QUADRO 5 - DESCRIÇÃO BIBLIOTECAS LINGUAGEM R.....	40
QUADRO 6 – LISTA DE LOCAIS ROTA OTIMIZADA PYTHON (Continua).....	42
QUADRO 7 - LISTA DE LOCAIS ROTA NÃO OTIMIZADA MS-EXCEL (Continua) 45	
QUADRO 8 - LISTA DE LOCAIS ROTA OTIMIZADA MS-EXCEL (Continua)	47
QUADRO 9 – AVALIAÇÃO SOLUÇÃO MS-EXCEL.....	52
QUADRO 10 – AVALIAÇÃO SOLUÇÃO PYTHON COM OR-TOOLS	52
QUADRO 11 – AVALIAÇÃO SOLUÇÃO LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO R	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GI	Gestão da Informação
IDE	<i>Integrated Development Enviroment</i>
MS	<i>Microsoft</i>
PCV	Problema Caixeiro Viajante
PRPV	Problemas de Roteirização e Programação de Veículos
TRE	Tribunal Regional Eleitoral
TSE	Tribunal Superior Eleitoral
TSP	<i>Traveling Salesman Problem</i>
UE	Urnas Eleitorais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
1.5	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	GESTÃO DA INFORMAÇÃO	17
2.2	ELEIÇÕES NO BRASIL	22
2.3	ROTEIRIZAÇÃO	23
2.4	MÉTODOS PARA ROTEIRIZAÇÃO	24
2.5	CAIXEIRO VIAJANTE	25
3	ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS	28
3.1	AMBIENTE DA PESQUISA	28
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	28
3.3	MATERIAIS	29
3.4	MÉTODOS E FERRAMENTAS	34
3.4.1	OR-TOOLS COM LINGUAGEM PYTHON	34
3.4.2	MICROSOFT EXCEL COM COMPLEMENTO SOLVER	35
3.4.3	PROGRAMAÇÃO EM R	40
4	RESULTADOS	41
4.1	RESULTADOS SOLUÇÃO OR-TOOLS EM PYTHON	41
4.2	RESULTADOS SOLUÇÃO EM MS-EXCEL®	45
4.3	RESULTADOS SOLUÇÃO LINGUAGEM R	49
4.4	AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5.2	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS PROPOSTOS	55
5.3	TRABALHOS FUTUROS	56
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A — SCRIPT EM PYTHON PARA SOLUÇÃO DO PCV	61
	APÊNDICE B — SCRIPT EM R PARA SOLUÇÃO DO PCV	71
	ANEXO C — RELATÓRIOS DE RESPOSTA E POPULAÇÃO MS-EXCEL	76

1 INTRODUÇÃO

A roteirização de veículos para realização de entregas está presente em diversos meios. Seja na entrega de produtos, na prestação de serviços ou outras situações que demandam locomoção de veículos, partindo de um ponto para outro e consequentemente, o retorno ao ponto de partida ou até mesmo outro ponto a ser determinado.

Potencializar a performance dos processos de roteirização adequados podem resultar na otimização dos resultados logísticos, diminuição de distâncias percorridas, tempo gasto, custos com serviços e transporte. Dessa forma, um modelo de roteirização, para a organização, traz benefícios e permite uma gestão eficiente (ALVES; ZAGO, 2016).

O Brasil conta com cerca de 500 mil urnas eleitorais que são utilizadas em todo país em diversas regiões e seções eleitorais em situações de sufrágio. Os Tribunais Regionais Eleitorais dos 26 estados e Distrito Federal são responsáveis pelo armazenamento, manutenção e distribuição destas urnas, que devem estar prontas e preparadas, com testes de carga, verificação de componentes, teclado, som e visualização. Tudo deve estar preparado para votação, sem adiamentos, para que não ocorra descrédito diante a democracia implantada no país (TSE, 2018).

Levando em consideração que a utilização de ferramentas de roteirização pode determinar rotas de menor custo, também possibilitando administrar questões de tempo, a roteirização aplicada com o problema do caixeiro viajante pode ser um grande diferencial se aplicado na distribuição de urnas eleitorais.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

A roteirização visa descobrir novos caminhos para os veículos em deslocamento, de forma que os custos, sejam eles tempo; gastos com veículos; segurança etc., sejam minimizados. Ademais deve-se considerar que um veículo tenha um ponto de referência, geralmente o ponto de partida e seu retorno ao depósito ou outra base determinada, respeitando a regra de que cada ponto de entrega seja visitado uma vez, não excedendo a capacidade do veículo que realiza a mesma. (LAPORT *et al*, 2000, apud CUNHA, 2000).

Segundo Melo e Ferreira (2001), a roteirização nas entregas é essencial para distribuições, permitindo ganhos significativos, sejam em relação aos custos

operacionais como também a qualidade do serviço prestado, possibilitando que a empresa responsável pelas entregas possa lograr vantagem competitiva em vista a outras empresas atuantes no mercado. Ainda de acordo com o autor, existem sistemas chamados de roteirizadores, sendo eles sistemas que através de algoritmos e uma base de dados são capazes de oferecer soluções para problemas de roteirização de entregas e programação de veículos (PRPV), com resultados significantes, em conjunto a um esforço mínimo em comparação à métodos convencionais. De acordo com Melo e Ferreira (2001, p. 224), os sistemas atuais podem ainda considerar diversas restrições, que vão desde a quantidade de depósitos, janelas de tempo, barreiras físicas, restrições de veículos e jornadas de trabalho, etc. Isso torna possível modelos semelhantes à nossa realidade atual. Além disso, estes sistemas fornecem recursos gráficos e relatórios de resultados, os quais auxiliam em tomada de decisão.

Essas otimizações podem ser realizadas de diversas maneiras, sendo um deles com o *Traveling Salesman Problem* (TSP) ou Problema do Caixeiro Viajante (PCV) em sua tradução.

Todas as informações supracitadas corroboram para um problema observado durante eventos eleitorais realizados na cidade de Almirante Tamandaré, Paraná, onde há uma imensa logística de entrega de UE e visitas aos locais de votação, para adequação das salas de votos, permitindo que os pleitos eleitorais sejam realizados com sucesso.

E para que todo esse processo ocorra de maneira adequada, enxerga-se como necessário avaliar rotas que otimizem as entregas e visitas aos locais de votação. Com isso, este estudo tem foco na seguinte questão: **de que forma a aplicação do problema do caixeiro viajante auxilia na otimização de rotas para distribuição de urnas eleitorais e visita aos locais de votação?**

1.2 OBJETIVOS

Com o propósito de responder as questões levantadas durante a problematização, os objetivos a serem considerados no projeto de pesquisa estão divididos em objetivo(s) geral e específicos.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral a aplicação do problema do caixeiro viajante na distribuição de urnas eleitorais na zona eleitoral de Almirante Tamandaré.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São definidos os objetivos específicos para que se possa alcançar o objetivo geral previamente estabelecido, sendo eles:

- Selecionar possíveis ferramentas utilizadas na solução do PCV na literatura especializada;
- Realizar experimentos utilizando uma base de dados como teste nas ferramentas selecionadas;
- Obter rotas otimizadas a partir dos experimentos realizados na base de testes com as ferramentas selecionadas;
- Avaliar os resultados gerados pelas ferramentas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Encontrar melhores rotas para distribuição de qualquer produto é um grande desafio dos dias atuais. Deve-se considerar diversos fatores que podem afetar a logística entre os caminhos a serem percorridos até o destino final da entrega. Na distribuição de urnas eleitorais e em visitas aos locais de votação não é diferente, uma vez que estes locais estão distribuídos em municípios de grande extensão, sendo possível observar a necessidade de otimizar rotas para estas atividades, na busca de minimizar os custos da operação.

No ano de 2018 o Tribunal Regional Eleitoral do Paraná (TRE-PR) adotou em sua logística um novo modelo para transporte de UE, antes este transporte era realizado pelos correios. Atualmente passou a ser realizado por uma empresa vencedora de licitação, onerando mais de 4 milhões aos cofres públicos, exceto por cidades que possuem convênio com o poder público municipal. (TRE-PR, 2018).











Além das questões levantadas, o presente estudo se dá em ocorrência do envolvimento com pleitos eleitorais na cidade de Almirante Tamandaré - Paraná, ao vivenciar dificuldades no momento em que toda operação é organizada. Com isso,

surgiu o interesse em adotar padrões para a distribuição de UE, com intuito de diminuir os custos e com isso o tempo gasto em toda operação.

Ressalta-se ainda o benefício para toda sociedade, uma vez que com a otimização destas atividades, torna-se mais ágil todo o processo de organização dos pleitos eleitorais, com prévio recebimento das UE, montagem e inicialização das mesmas, aliado à redução de custos. Em conjunto a isso, traz uma maior organização para quem trabalha nestes pleitos e são responsabilizados por todo processo que envolve a votação.

Acerca disso, foi realizado um levantamento na base de dados da *Web Of Science* no dia 16 de junho de 2019 com os termos "*traveling salesman*" e "*routing*" com objetivo de verificar pesquisas já existentes que utilizam o problema do caixeiro viajante relacionado à roteirização, com isso, obteve-se um resultado de 2.117 documentos, evidenciando a relação entre os mesmos, sendo possível verificar as dez principais áreas de distribuição de pesquisa conforme a figura a seguir (Figura 1).

FIGURA 1 - ÁREAS DE PESQUISA TRAVELING SALESMAN E ROUTING

Campo: Categorias do Web of Science	Contagem do registro	% de 2,117	Gráfico de barras
OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE	890	42.041 %	
COMPUTER SCIENCE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	352	16.627 %	
MANAGEMENT	328	15.494 %	
COMPUTER SCIENCE INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS	305	14.407 %	
COMPUTER SCIENCE THEORY METHODS	266	12.565 %	
ENGINEERING ELECTRICAL ELECTRONIC	255	12.045 %	
ENGINEERING INDUSTRIAL	234	11.053 %	
MATHEMATICS APPLIED	196	9.258 %	
TRANSPORTATION SCIENCE TECHNOLOGY	177	8.361 %	
COMPUTER SCIENCE INFORMATION SYSTEMS	155	7.322 %	

Fonte: Web Of Science (2019)

Realizando um levantamento na base *Scielo* (*Scientific Eletronic Library Online*) com o objetivo de encontrar pesquisas realizadas no Brasil, com os termos "Caixeiro Viajante" e "Roteirização" não foram encontrados documentos, todavia, ao pesquisar os termos isoladamente, obteve-se 7 resultados para o termo "Caixeiro Viajante" e 18

para o termo "Roteirização". Apesar de não encontrar documentos com a combinação, ambos se relacionam, de modo que o PCV grande parte das vezes é utilizado para solucionar problemas de entregas, ou seja, encontrar as melhores rotas a serem percorridas.

Apesar da quantidade de documentos levantados acerca do PCV e roteirização neste período, não há pesquisas envolvendo o âmbito eleitoral em relação com os temas pesquisados, justificando essa pesquisa e a diferenciando das demais.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como delimitação a aplicação e comparação de ferramentas na solução do PCV para distribuição de urnas, tendo como foco de aplicação a zona eleitoral de Almirante Tamandaré, região metropolitana de Curitiba, Paraná. Este município conta com 36 locais de votação, sendo eles divididos em 196 seções, onde cada seção representa uma urna eleitoral que deve ser entregue ao local de votação. Além disso, o município conta com uma população apta à votação de 69.208 mil eleitores, segundo dados levantados do Tribunal Regional Eleitoral do Paraná em 05/04/2019.

1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

O documento está dividido em cinco seções principais. A primeira seção identifica informações introdutórias sobre a pesquisa, elencando a problemática que originou a pesquisa, justificativa para sua realização e a delimitação da pesquisa.

A segunda seção aborda à revisão de literatura relacionada ao tema abordado, contextualizando sobre a gestão da informação, eleições no Brasil, roteirização, métodos de roteirização e o caixeiro viajante.

A terceira seção elenca os encaminhamentos metodológicos elencados na pesquisa, a fim de atingir os problemas propostos.

A quarta seção apresenta os resultados obtidos, com base na metodologia para aplicação do PCV elencado na seção anterior.

A quinta seção apresenta as considerações finais, destacando as contribuições do estudos, problemas enfrentados, resultados alcançados e pesquisas futuras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta a fundamentação teórica para os assuntos abordados na problemática levantada e os objetivos a serem alcançados. Com isso, foram abordados os temas: gestão da informação, eleições no Brasil, roteirização e caixeiro viajante.

2.1 GESTÃO DA INFORMAÇÃO

Antes de citar definições para Gestão da Informação, necessita-se elencar as distinções que há entre dado, informação e conhecimento, processos esses que dão suporte à Gestão da Informação.

Para Davenport e Prusak (1998) dados "são um conjunto de fatos distintos e objetivos, relativos a eventos". Sugere ainda que dados, por si só, têm pouca relevância ou propósito.

Já a informação para Davenport (1998) é definida como dados dotados de relevância e propósito, sendo esses dados dotados por seres humanos atribuindo tais propósitos. McGee e Prusak (1994) corroboram para definição de informação contrapondo a diferença entre dado e informação:

A informação não se limita a dados coletados; na verdade informação são dados coletados, organizados, ordenados, aos quais são atribuídos significados e contexto. Informação deve informar, enquanto os dados absolutamente não têm essa missão. (MCGEE; PRUSAK, 1994, p. 23-24).

Davenport (1998) elucida conhecimento como a informação em sua forma mais valiosa e também mais difícil de gerenciar. Valiosa pois alguém deu a informação um contexto, significado ou uma interpretação à essa informação. Difícil de gerenciar pois é de difícil categorização e localização.

No Quadro 1 é possível verificar uma exemplificação de ambos os termos segundo Davenport (1998).

QUADRO 1 – DIFERENÇA ENTRE DADO, INFORMAÇÃO E CONHECIMENTO (Continua)

Dado	Informação	Conhecimento
Simple observação sobre o estado do mundo	Dados dotados de relevância e propósito	Informação valiosa da mente humana

<ul style="list-style-type: none"> • Facilmente estruturado • Facilmente obtido por máquina • Frequentemente quantificado • Facilmente transferível 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer unidade de análise • Exige consenso em relação ao significado • Exige necessariamente a mediação humana 	<ul style="list-style-type: none"> • Inclui reflexão, síntese, contexto • De difícil estruturação • De difícil captura por máquinas • Frequentemente tácito • De difícil transferência
---	--	---

Fonte: Davenport (1998, p. 18)

Definidos dado, informação e conhecimento, Marchiori (2002) apresenta a GI em três recortes específicos, devido a importância que a mesma possui quando se trata de agregação de valor diante das informações. Essa tríade é formada pela administração, tecnologia da informação e ciência da informação.

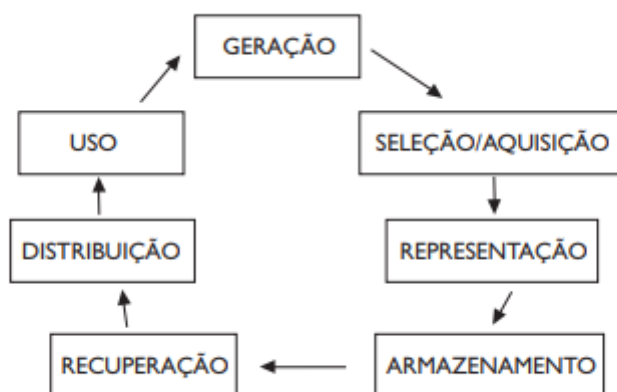
Sob a perspectiva de administração, Marchiori (2002) elenca que a gestão da informação visa aumentar a competitividade no meio empresarial, em conjunto com uma modernização dos processos organizacionais, sendo possível a capacitação dos profissionais, de forma que a administração de tecnologias da informação esteja em sintonia com os objetivos das organizações. Segundo o autor, forma-se um profissional que domina o planejamento e uso estratégico das tecnologias de informação, além dos elementos já propostos pela área.

Marchiori (2002) descreve GI como um recurso sob o enfoque da tecnologia, podendo ser otimizado dentro de diferentes vias, seja hardware, software e/ou telecomunicações, aplicado à diferentes sistemas de informação.

Diante à Ciência da Informação, a qual estuda a informação em sua essência, Marchiori (2002) aborda a GI do ponto de vista onde há fornecimento e demandas de informação, sendo responsável pelo gerenciamento de recursos de informação na criação, identificação, coleta, validação, representação, recuperação e uso da informação, dispostas para utilização.

Tarapanoff (2006) define GI como princípios administrativos que tratam da aquisição, organização, controle, disseminação e uso da informação, com objetivo de alimentar todo um ciclo operacional de uma organização, podendo ser representado pelo ciclo de informação (processo da Ciência da Informação), conforme a Figura 2.

FIGURA 2 – CICLO INFORMACIONAL



Fonte: PONJUAN DANTE (1998, p.47, apud TARAPANOFF, p.22)

O ciclo informacional é iniciado quando se detecta uma necessidade informacional, um problema a ser resolvido, uma área ou assunto a ser analisado. É um processo que se inicia com a busca da solução a um problema, da necessidade de obter informações sobre algo, e passa pela identificação de quem gera o tipo de informação necessária, as fontes e o acesso, a seleção e aquisição, registro, representação, recuperação, análise e disseminação da informação, que, quando usada, aumenta o conhecimento individual e coletivo. (TARAPANOFF, 2006, p. 23).

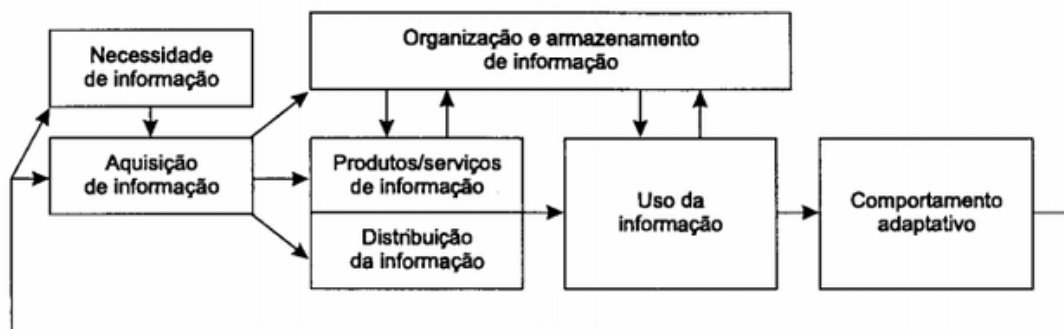
Choo (2003) sugere que a administração da informação seja vista como a administração de uma rede de processos que adquirem, criam, organizam, distribuem e usam a informação. A partir disso, o autor analisa a administração da informação como um ciclo contínuo de seis processos correlatos:

1. identificação das necessidades de informação;
2. aquisição da informação;
3. organização e armazenamento da informação;
4. desenvolvimento de produtos e serviços de informação;
5. distribuição da informação; e
6. uso da informação.

Segundo Choo (2003) com o uso eficiente da informação, o comportamento se torna adaptativo, fazendo com que a seleção e execução de ações sejam dirigidas para os objetivos, entretanto também reagem às condições do ambiente que estão inseridas. Acerca das reações da organização, elas interagem com as ações de outras organizações, gerando novos sinais e mensagens, para que seja mantido novos ciclos de uso da informação.

O modelo proposto por Choo (2003) que apresenta o processo de administração da informação pode ser visto na Figura 3.

FIGURA 3 – MODELO PROCESSUAL DE ADMINISTRAÇÃO DA INFORMAÇÃO



Fonte: Choo (2003, p. 404)

Estes processos são detalhados por Choo (2003). Segundo o autor as necessidades de informação nascem de problemas, incertezas e ambiguidades, que são encontradas a partir de situações e experiências específicas. Portanto, com a determinação das necessidades é possível definir a quem cabe a informação e como esta deve ser apresentada, dando um real significado para a informação, sendo essas necessidades condicionais, dinâmicas e multifacetadas, sendo possível somente dentro de uma rica representação do ambiente em que a informação é usada. Ainda para Choo (2003) cada grupo de pessoas ou de usuários de informação tem características próprias, essas que explicam as diferenças em relação à informação para solução de um problema.

Adiante, quanto a aquisição da informação, Choo (2003) elenca que a aquisição da informação deve utilizar de fontes que sejam usadas para monitorar o ambiente, de forma que sejam numerosas e variadas, para refletir todo o aspecto de interesse da organização, sejam elas de fontes humanas, textuais e online, de modo a evitar-se a saturação da informação, todavia, essa variedade deve ser controlada e administrada. Segundo o autor, a seleção e uso das fontes de informação tem de ser planejada e continuamente monitorada, assim como qualquer outro recurso que seja vital para a organização.

Acerca da organização e o armazenamento da informação Choo (2003) descreve que parte da informação que é adquirida ou criada é fisicamente organizada e armazenada, seja em arquivos, banco de dados ou outros sistemas de

informação, de modo que facilite a sua partilha e recuperação. Essa informação recuperada tem finalidade de facilitar o debate, a discussão e o diálogo, assim como responder a perguntas, interpretar situações ou resolver problemas, segundo o autor.

Ainda segundo Choo (2003) a organização e o armazenamento da informação têm duas principais funcionalidades: localizar fontes de experiência dentro da organização e recuperar relatórios de trabalhos anteriores ou problemas semelhantes, em que um sistema bem indexado oferece acesso ao conhecimento acumulado pela organização, podendo acelerar o processo de construção do conhecimento.

O desenvolvimento de produtos e serviços de informação segundo Choo (2003) tem como função principal na administração da informação garantir que as necessidades informacionais dos usuários da organização sejam supridas, de forma que agreguem valor para a informação que está sendo processada, de forma que ajude o usuário na tomada de decisões, com ações mais eficazes. Ainda segundo o autor, um produto ou serviço de informação deve propiciar facilidade em seu uso, reduzir ruídos, ter qualidade, adaptabilidade, proporcionar economia de tempo e reduzir custos.

A distribuição da informação segundo Choo (2003) é o processo pelo qual as informações se disseminam na organização, de modo que "a informação correta atinja a pessoa certa, no momento, lugar e formato adequados". Para o autor a ampla distribuição das informações acarreta em consequências positivas como: aprendizado organizacional, recuperação da informação e geração de novas informações, tendo como objetivo promover e facilitar o compartilhamento de informações, este que é insumo fundamental para criação de significado, construção de conhecimento e tomada de decisões segundo o autor.

O uso da informação é descrito por Choo (2003) como processo social dinâmico de pesquisa e construção, que resulta na criação de significado, construção de conhecimento e seleção de padrões de ação. Segundo o autor, o principal propósito é propiciar suficiente compreensão de uma questão, de forma que o processo decisório se dê início, possibilitando criação de significado, de conhecimento e de decisões.

Por fim, Choo (2003) conclui que o desafio da administração da informação é projetar e criar estruturas e processos de informação que sejam tão flexíveis, energéticos e permeáveis quanto os processos de pesquisa e tomada de decisões que eles apoiam.

2.2 ELEIÇÕES NO BRASIL

Atualmente, as eleições no Brasil são regidas de acordo com o Decreto de Lei Nº 9.504 de 30 de setembro de 1997, que estabelece normas e regras para as eleições a nível nacional, sendo realizadas no primeiro domingo de outubro do ano respectivo. Ainda, de acordo com a Lei, as eleições são realizadas simultaneamente para:

- I. Presidente e Vice-Presidente da República, Governador e Vice-Governador de Estado e do Distrito Federal, Senador, Deputado Federal, Deputado Estadual e Deputado Distrital;
- II. Prefeito, Vice-Prefeito e Vereador.

Caso nenhum candidato consiga alcançar a maioria absoluta dos votos é organizada novamente a eleição entre os dois candidatos mais votados, sendo este segundo turno realizado no último domingo de outubro, para Presidente, Governador e Prefeitos. No caso da eleição para prefeitos, só haverá segundo turno se a respectiva cidade tenha uma população maior que duzentos mil habitantes.

A utilização de urna eletrônica nos processos eleitorais no Brasil está regulamentada pela mesma lei, em seu art.59 que diz: "A votação e a totalização dos votos serão feitas por sistema eletrônico". Ainda na mesma Lei, no art.61 é assegurado que "A urna eletrônica contabilizará cada voto, assegurando-lhe o sigilo e inviolabilidade, garantida aos partidos políticos, coligações e candidatos ampla fiscalização", possibilitando que seja cumprido o princípio constitucional do voto, previsto no caput do art. 14 da Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988.

De acordo com Mezzaroba e Rover (2009) a urna eletrônica no Brasil é representada como uma importante ferramenta a ser utilizada para auxiliar a participação do cidadão nos processos eleitorais e em determinadas convocações de consultas públicas, sendo esses plebiscito e referendo. Ainda de acordo com o autor, a urna eletrônica apresenta um sistema capaz de gerar resultados de forma mais rápida e econômica em relação ao sistema de voto convencional, ampliando a participação da população.

Segundo Nicolau (2012) intenção de adotar votações com urnas eleitorais no Brasil data desde de 1990 pela Justiça Eleitoral, com teste em alguns municípios brasileiros. Porém, sua adoção aconteceu somente em 1996, com substituição das urnas de cédula de papel em 37 cidades com mais de 2 mil eleitores, a qual na época

representavam 32% da população. Já em 1998 o voto eletrônico foi utilizado pela primeira vez em eleições nacionais nos estados de Alagoas, Rio de Janeiro, Roraima e Amapá e em cidades com mais de 40.500 mil eleitores. Nesta altura, o voto eletrônico já atingia 58% da população votante segundo o autor. Nos anos 2000 aconteceu a primeira eleição com votação totalmente eletrônica em todo país, que conforme citado por Nicolau (2012), corroborou para extinção de fraudes eleitorais, agilidade no processo de apuração e questões de segurança nas votações.

A adoção da urna eletrônica foi um passo decisivo para a extinção de fraudes eleitorais no Brasil, sobretudo as promovidas durante o processo de apuração dos votos. Teoricamente, o sistema empregado na urna pode ser violado. Por essa razão, a cada eleição, o TSE tem submetido a urna eletrônica a testes mais rígidos de segurança. O ponto mais vulnerável do novo sistema não tem a ver com a vulnerabilidade tecnológica da urna, mas com a possibilidade ainda existente de um cidadão votar em lugar de outro. A opção da Justiça Eleitoral para eliminar a possibilidade de um eleitor votar pelo outro foi a adoção do voto biométrico (reconhecimento pelas impressões digitais), que tem sido usado em um número crescente de municípios. (NICOLAU, 2012, p. 96).

Por fim, no ano de 2010 o Tribunal Superior Eleitoral começou a utilização da urna eletrônica com leitor biométrico, para identificação dos eleitores, a fim de impedir que um eleitor conseguisse fraudar a votação e realizar o voto por outro, sendo identificado pela digital. Esse sistema foi adotado inicialmente em 23 estados em seu início. (NICOLAU, 2012).

Na Figura 4 é possível observar os principais eventos sobre a adoção das urnas eletrônicas num formato de linha do tempo.

FIGURA 4 - LINHA DO TEMPO UTILIZAÇÃO DE URNAS ELETRÔNCIAS – 1996-2010



Fonte: O autor (2019)

2.3 ROTEIRIZAÇÃO

Como assegura Novaes (2007), pode-se dizer que os processos de roteirização são descritos como a decisão dos clientes a serem visitados e posteriormente atinar-se ao cronograma de sequenciamento das visitas e as restrições, sendo necessário completar as rotas com os recursos disponíveis. Neste contexto, fica claro que o

objetivo é determinar rotas de veículos que minimizem os custos de transporte, de modo que todos clientes sejam atendidos e, as restrições de capacidade dos veículos sejam respeitadas. (BELFIORE; COSTA; FÁVERO, 2006).

Já para Cunha (2000) a roteirização pode ser caracterizada por n clientes que deverão ser atendidos por uma frota de veículos, clientes estes que não devem apresentar restrições ou ordem em que deverão ser atendidos.

Enomoto e Lima (2007) descrevem as principais restrições que devem ser consideradas quando se realiza uma roteirização: tamanho da frota disponível; tipo de frota; garagem dos veículos. natureza da demanda; localização da demanda; características da rede; restrições de capacidade dos veículos; requisitos de pessoal; tempos máximos de rotas; operações envolvidas; custos e objetivos e tantas outras que podem influenciar em uma rota de distribuição.

De acordo com Ballou (2006), elaborar boas soluções para o problema de roteirização e programação de veículos torna-se cada vez mais difícil, nas medidas em que novas restrições são impostas. De acordo com o autor, janelas de tempo, tempo máximo de permanência ao volante, velocidade máximas diferentes em diferentes zonas, barreiras ao tráfego são algumas das inúmeras considerações que acabam por afetar o projeto do roteiro.

Matos *et al.* (2013) afirmam que com a utilização de métodos de roteirização para planejamento de rotas torna-se possível um melhor uso dos recursos existentes, possibilitando fazer entregas inteligentes, ter um maior controle das rotas, reduz a sobreposição de entrega, possibilita a criação de territórios e rotas rentáveis, ou seja, definir o caminho mais eficiente reduz os custos e melhora o nível de serviço.

2.4 MÉTODOS PARA ROTEIRIZAÇÃO

De acordo com Matos *et al.* (2013) entre os sistemas de roteirização mais utilizados estão o método Clarke & Wright e o método de "varredura". Segundo o autor, através destes métodos é possível efetuar um planejamento de rotas de maneira eficiente, com uma execução adequada. Alencar *et al.* (2015) corrobora incluindo métodos heurísticos e o PCV como principais métodos para roteirização.

Ballou (2006) define o método de "varredura" como relativamente simples, podendo este ser calculado a mão, mesmo para grandes problemas. De acordo com o autor, quando o método é programado em computador, pode resolver problemas com rapidez, sem utilização de uma grande quantidade de memória. Segundo Ballou

(2006) o índice de erro com este método é de cerca de 10%, considerado aceitável quando é necessário obter resultados em um curto prazo e se preza por soluções boas em lugar de ótimas.

Novaes (2007) elenca que o método Clarke e Wright tem sido muito utilizado e com grande sucesso, sendo embutido dentro de muitos softwares de roteirização. De acordo com Matos *et al.* (2013) esse método proporciona um leque de diferentes opções de roteiros, organizando as diferentes restrições de uma rota e outras formas de distribuição de produtos e serviços, proporcionando benefícios satisfatórios para a empresa e seus clientes. Ballou (2006) descreve o método Clarke e Wright como método das "Economias", sendo capaz de resolver uma ampla coleção de restrições práticas, relativamente rápido em termos computacionais em conjunto de um número moderado de paradas, capaz de gerar soluções que são quase ótimas. De acordo com o autor esse método proporciona soluções que são, em média, dois por cento mais caros que o nível ótimo. Ballou (2006) elenca que o objetivo do método economias é minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e indiretamente minimizar o número de veículos necessários, permitindo incluir muitas restrições que parecem tão importantes em aplicações reais, sendo sólida ao mostrar capacidade de simultaneamente atribuir uma parada a um roteiro e situá-la na sequência apropriada nessa rota.

Cunha (2000) descreve que o primeiro problema de roteirização estudado advém do caixeiro viajante, que consiste em encontrar sequência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante, com objetivo de minimizar a distância total percorrida, assegurando que cada cidade seja visitada exatamente uma vez. De acordo com o autor, muitas vezes problemas de roteirização são classificadas como problemas de múltiplos caixeiros viajantes, com restrições adicionais de capacidade, além de outras que dependem de cada aplicação, podendo este também ser utilizado em outras áreas que não a logística ou operações de frotas.

Por fim, Vieira (2013) discorre que as meta-heurísticas tem como objetivo explorar apenas uma parte do espaço solução do problema de roteirização, entretanto, geralmente é feito de forma mais abrangente, para que as soluções encontradas sejam de melhor qualidade. De acordo com o autor, as meta-heurísticas são mais gerais e tem capacidade de saída de ótimos locais.

2.5 CAIXEIRO VIAJANTE

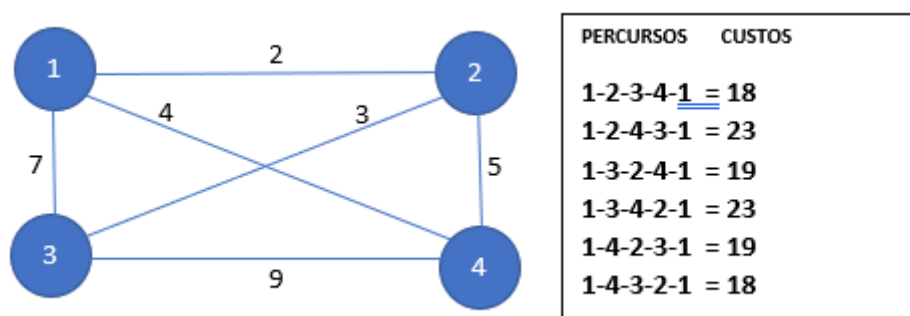
Segundo Guedes, Leite e Aloise (2009) o PCV é um dos mais conhecidos quando se fala em otimização combinatória. De acordo com os autores, sua importância prática e dificuldade de solução atraí a atenção de muitos pesquisadores, sejam das áreas de matemática, da engenharia ou da ciência da computação. Ainda segundo os autores, o PCV pode ser estabelecido da seguinte maneira: dado um conjunto de cidades e o custo da viagem entre cada par delas, procura-se encontrar o caminho mais barato de visitar todas as cidades e, conseqüentemente, retornar ao ponto de origem, sempre visitando cada cidade exatamente uma vez.

Conforme afirma Kretzschmar, Nunes e Benevides (2013, p. 217) o PCV está inserida na classe de problema *NP-Hard*, ou seja, não existem algoritmos com limitação polinomial capazes de resolvê-lo. Logo, somente casos de pequeno porte podem ser solucionados de forma ótima. Problemas maiores tornam-se inviáveis através dos métodos exatos, haja visto o esforço computacional que seria exigido. Ainda assim, de acordo com o autor, diversas abordagens de algoritmos heurísticos oferecem soluções próximas a ótima para os problemas *NP-Hard*.

Silva (2010) relata que problema é aplicável em diversas áreas como: indústrias, empresas, automobilística, transporte de passageiros, roteirização de serviços, sequenciamento de genoma etc.

Na Figura 5 é possível observar um exemplo de rota definida pelo caixeiro viajante em sua maneira tradicional, considerando um grafo com $N = 4$ vértices, sendo 1 o vértice inicial. A resolução para o problema é a força bruta, onde todos os possíveis trajetos são testados, obtendo como resultado o menor custo de percurso.

FIGURA 5 - EXEMPLO DE ROTA DO CAIXEIRO VIAJANTE



Fonte: O autor (2019)

Conforme o exemplo, temos um total de 6 possíveis percursos, sendo o percurso 1-2-3-4-1 e 1-4-3-2-1 os percursos com menor custo (18).

O PCV é um clássico da pesquisa operacional, segundo Loesch e Hein (2009, apud Kretzschmar, Nunes e Benevides (2013) a pesquisa operacional é descrita como ciência do conhecimento, por ter a capacidade de estruturar processos pela transformação de dados reais, propondo ações e alternativas de soluções diversas. De acordo com Silva *et al.* (2008, apud Kretzschmar, Nunes e Benevides (2013) a pesquisa operacional é descrita como um sistema completo que utiliza de um dado modelo matemático de acordo com a problemática utilizada para encontrar uma maneira segura de trabalhar com este sistema de forma lógica.

O caixeiro viajante por ser solucionado através de diversas metodologias, conforme o Quadro 2:

QUADRO 2 – METODOLOGIAS PARA SOLUÇÃO DO PCV (Continua)

Metodologia	Descrição
Métodos exatos	Correspondem a resolução do problema de forma natural, porém inviável para problemas de grande porte, uma vez que é obtida pela combinação de todas as possibilidades.
Métodos heurísticos	Não garantem uma solução ótima, mas busca por soluções aproximadas e tempo de execução aceitáveis sem possuir limites formais de qualidade.
Algoritmos genéticos	Tratam de uma implementação segundo a teoria da seleção natural de Darwin, onde, indivíduos mais aptos sobrevivem. Utiliza de operadores de reprodução, cruzamento e mutação, gerando novas populações a partir destas operações, gradativamente aprimoradas.
Algoritmos meméticos	São considerados extensões de algoritmos genéticos, diferenciando-se apenas pela questão de evolução, que neste caso, simula uma evolução cultural e não biológica.
Algoritmos transgenéticos	Têm como base o processo de Endossimbiose/ <i>Quorum Sensing</i> , onde a evolução não ocorre pela troca de informações dentro da população de cromossomos, mas entre a população de cromossomos e uma população de vetores, transgenéticos.
Otimização por nuvens de partículas	Metodologia baseada no comportamento do voo em bando dos pássaros, em que uma função mediria os esforços de cada pássaro em manter uma distância ótima de seu vizinho. Composto por uma função objetivo que avalia e direciona partículas no espaço de soluções conforme velocidade de cada uma.

Fonte: O autor adaptado de Silva (2010, p. 3)

Após a discussão dos principais conceitos relacionados à pesquisa em pauta, a próxima seção discorre sobre os encaminhamentos metodológicos da mesma.

3 ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção apresenta a caracterização da pesquisa, seu ambiente de desenvolvimento e informações acerca da aplicação.

3.1 AMBIENTE DA PESQUISA

Este estudo foi realizado utilizando dados do Tribunal Regional Eleitoral do Paraná, com foco na zona eleitoral de Almirante Tamandaré.

O (TRE) tem como funções principais o alistamento eleitoral, votação, apuração dos votos, diplomação dos eleitos etc., para garantir o respeito à soberania popular e à cidadania.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A caracterização da pesquisa é realizada conforme descreve Gil (2009), por finalidade, abordagem, objetivos e procedimentos, conforme a Figura 6.

FIGURA 6 - CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA



Fonte: O autor (2019)

Gil (2009) elenca que a finalidade por ser pura ou aplicada. Essa pesquisa é considerada como aplicada, uma vez que sua finalidade é de encontrar soluções à partir de dados e ferramentas apresentadas. De acordo com o autor a pesquisa aplicada tem como interesse fundamental a aplicação, utilização e consequências práticas do conhecimento gerado.

Para a abordagem do problema, a pesquisa pode ser caracterizada como qualitativa ou quantitativa. Este trabalho é classificada como quantitativa, uma vez que

trabalha com linguagens matemáticas para descrever causas de um fenômeno, relações entre variáveis etc. (FONSECA, 2002).

Quanto aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória, descritiva ou explicativa. O presente estudo é classificado como descritivo, pois aborda relações entre variáveis, população ou fenômeno e também adota técnicas padronizadas. (GIL, 2009).

Quanto aos procedimentos, Gil (2009) elenca que a pesquisa pode ser classificada em: estudo de caso; levantamento; pesquisa bibliográfica; documental; participante; ou experimental.

Este estudo é considerado um estudo de caso, uma vez que é realizado em uma entidade definida, zona eleitoral de Almirante Tamandaré. De acordo com Fonseca (2002) um estudo de caso pode ser caracterizado por:

Uma entidade bem definida como um programa, uma instituição um sistema educativo, um pessoal, ou uma unidade social. Visa conhecer em profundidade o seu "como" e os seus "porquês", evidenciando a sua unidade e identidade próprias. É uma investigação que se assume como particularística, isto é, que se debruça deliberadamente sobre uma situação específica que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir a que há nela de mais essencial e característico (FONSECA, 2002, p. 33).

As próximas seções apresentam os materiais, métodos e ferramentas utilizados na pesquisa.

3.3 MATERIAIS

Os materiais utilizados para efetivação da pesquisa foram retirados do site do Tribunal Regional Eleitoral do Paraná, utilizando dados somente pertencente à zona eleitoral 171, correspondente a cidade de Almirante Tamandaré. Diante disso, foi elaborado uma base de dados a ser utilizada. Para o tratamento dos dados coletados no site do TRE, foi utilizada a ferramenta de planilhas do *Google, Google Sheets*, adequando os dados para o problema. A base utilizada é descrita de acordo os atributos do Quadro 3.

QUADRO 3 - DESCRIÇÃO DA BASE UTILIZADA

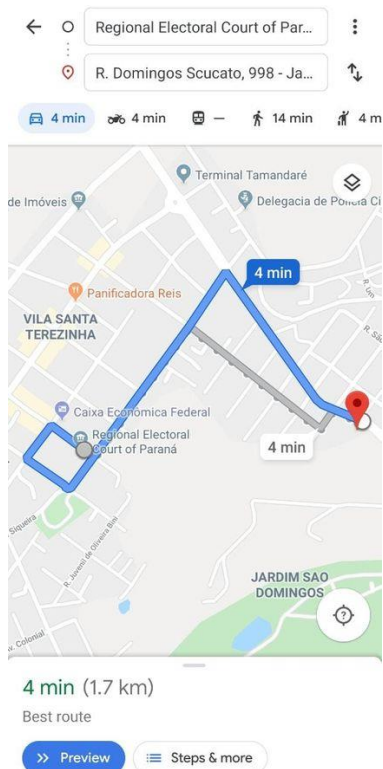
Campo	Descrição
Zona	Zona a qual uma seção pertence. No caso de Almirante Tamandaré, zona 171.
Seção(ões)	Seção(ões) de determinado local de votação. Representado na base por: 22/345;23/347;166/346 etc.
Local	Local que abriga as seções e se realiza a votação. Ex: Colégio Estadual Ambrósio Bini; Colégio Estadual Jaci Real Prado de Oliveira etc.
Endereço	Endereço do local de votação, com logradouro e número.
Bairro	Bairro do local de votação.
Cidade	Cidade do local de votação.
Estado	Estado do local de votação.
Coordenadas	Coordenada geográfica do local. Este campo foi preenchido pelo pesquisador, uma vez que não está disponível na base.
Seções	Total de seções presentes no local de votação.
Eleitores	Total de eleitores votantes em determinado local de votação.
Seções Previstas	Seções previstas para votação do local, geralmente todas as seções presentes no local de votação, salvo exceções.

Fonte: O autor (2019)

A partir dos dados coletados e com base nos endereços dos locais de votação, foi elaborada uma matriz de custos, também chamada de matriz de distância, obtida com a utilização do *Google Maps*.

Para a elaboração desta matriz, foi traçado rotas entre os locais de votação, sendo possível obter a distância do melhor trajeto fornecido pelo *Google Maps*. Deve-se levar em consideração que todas as possibilidades de distância existentes entre os endereços deverão ser mapeadas, exceto pela distância entre um mesmo local, que é zero. Então para cada linha da matriz o ponto inicial deve percorrer todos os locais de votação e também passar pela zona eleitoral, então, essa matriz pode ser representada em $N \times N$, onde N são os endereços a serem percorridos. Exemplo: considera-se a zona eleitoral como sendo o ID1 e um determinado local de votação como ID2, desta forma, traça-se uma rota entre o ID1 e o ID2 no *Google Maps* a fim de obter a distância entre esses locais. A rota traçada pode ser observada pela Figura 7.

FIGURA 7 – VISUALIZAÇÃO DO MAPEAMENTO DA DISTÂNCIA ENTRE ROTA DO CARTÓRIO PARA LOCAL DE VOTAÇÃO



Fonte: O autor (2019)

Com a rota traçada no *Google Maps*, preenche-se a matriz com a distância obtida conforme a Figura 8.

FIGURA 8 - EXEMPLO MATRIZ DE DISTÂNCIA LOCAL 1 PARA LOCAL 2

ID	1	2
1	0	1,70
2		

Fonte: O autor (2019)

No total, a cidade de Almirante Tamandaré conta com 36 locais de votação, então, foi necessário medir a distância entre todos os locais, para que se obtenha a matriz desejada. A matriz de distância completa pode ser visualizada na Figura 9.

FIGURA 9 - MATRIZ DE DISTÂNCIA COMPLETA

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
1	0,00	1,70	0,50	1,00	2,50	1,80	3,10	3,30	4,60	6,20	7,30	6,00	4,40	4,50	10,10	10,70	10,20	5,50	10,10	15,20	5,00	8,70	9,70	10,60	7,30	9,30	4,90	12,20	1,20	5,10	5,80	1,90	10,50	10,20	0,85	7,40	5,50
2	1,20	0,00	1,80	0,80	1,90	3,20	2,90	1,60	4,90	4,50	4,80	4,90	2,70	3,20	6,00	7,00	7,50	3,80	7,30	15,30	6,30	9,80	10,80	11,70	7,40	9,40	5,30	12,20	1,00	4,60	7,10	3,20	11,60	10,30	0,85	7,40	3,80
3	0,35	1,50	0,00	1,20	2,30	1,80	3,20	3,10	4,40	6,00	7,10	5,80	4,20	4,30	9,90	10,50	10,00	5,30	9,90	15,10	4,90	8,50	9,60	10,40	7,20	9,20	4,70	12,10	1,30	4,90	5,70	1,80	10,30	10,10	0,65	7,30	5,20
4	1,00	0,90	1,00	0,00	1,50	2,40	2,10	2,50	5,30	5,40	5,70	5,80	3,60	4,10	7,00	7,90	8,40	4,70	8,20	14,40	5,60	8,90	10,10	10,70	6,60	8,60	5,60	11,40	0,16	4,20	6,40	2,50	10,60	9,50	0,60	6,60	4,70
5	2,10	1,90	2,60	1,50	0,00	4,00	3,50	1,40	6,90	6,40	6,80	6,90	4,70	5,20	5,20	9,00	9,40	5,70	9,30	15,80	7,10	10,40	11,60	12,20	8,00	10,00	7,20	12,80	1,60	2,60	7,90	4,00	12,20	10,90	1,60	8,00	5,70
6	1,90	3,20	1,60	2,50	3,90	0,00	4,80	4,80	5,30	8,40	8,00	6,70	5,90	5,20	10,80	11,40	10,90	7,20	10,80	15,50	4,90	8,20	10,00	10,10	7,70	9,70	5,60	12,50	2,60	6,50	5,70	0,60	10,00	10,50	2,30	7,70	7,10
7	3,00	3,00	3,10	2,10	3,50	4,70	0,00	4,50	7,90	7,40	7,80	9,40	5,70	7,80	13,40	10,00	10,40	6,80	10,30	12,40	7,90	12,10	10,40	13,90	4,50	6,50	8,20	9,40	1,90	6,10	8,70	4,80	13,80	7,40	2,60	4,60	6,70
8	2,80	1,60	3,40	2,40	1,40	4,80	4,50	0,00	4,30	3,90	4,20	4,30	2,10	2,60	5,40	6,40	6,90	3,20	6,70	16,80	7,90	9,20	12,40	11,10	9,00	11,00	4,60	13,80	2,60	2,40	5,70	4,80	11,00	11,90	2,40	9,00	3,20
9	5,30	6,50	5,00	5,80	7,30	5,90	8,40	4,90	0,00	3,50	3,00	1,80	3,40	2,20	5,80	6,40	6,00	3,70	5,80	19,20	4,40	4,50	13,70	6,30	11,30	13,30	0,65	16,20	5,90	9,20	1,70	6,00	6,20	14,20	5,70	11,40	4,20
10	5,70	4,50	7,10	5,30	6,40	8,00	7,40	3,90	3,20	0,00	0,35	1,30	2,40	2,60	3,90	2,50	3,00	1,50	2,80	21,30	5,40	5,50	15,80	7,30	13,40	15,40	3,50	18,20	5,50	7,30	5,40	8,00	7,30	16,30	5,30	13,50	2,10
11	10,00	4,80	6,60	5,70	6,80	7,60	10,10	4,20	2,70	0,35	0,00	1,30	2,80	3,90	3,50	4,10	3,30	1,90	3,10	20,80	4,90	5,10	15,30	6,90	13,00	15,00	3,10	17,80	5,80	6,80	4,90	7,60	6,80	15,90	7,30	13,00	2,50
12	6,20	4,90	5,80	6,60	6,90	6,80	9,30	4,30	1,90	1,30	1,30	0,00	2,80	3,10	4,60	3,90	4,30	1,90	4,20	20,00	4,60	4,80	14,50	6,60	12,20	14,20	2,30	17,00	6,80	7,90	4,60	6,80	6,50	15,10	6,50	12,20	2,60
13	4,00	2,70	4,50	3,60	4,70	5,90	5,60	2,10	2,90	2,40	2,70	2,80	0,00	1,10	2,70	4,90	5,40	1,70	5,20	18,00	7,60	7,80	14,20	9,60	10,10	12,10	3,20	15,00	3,70	2,40	4,20	6,00	9,50	13,00	3,60	10,20	1,00
14	4,70	3,20	4,40	4,00	5,20	5,30	7,80	2,60	1,70	2,60	3,00	3,20	1,10	0,00	7,20	5,20	5,60	2,00	5,50	18,60	3,00	5,90	13,10	7,70	10,70	12,70	2,00	15,60	4,20	3,50	3,10	5,40	7,60	13,60	5,00	10,80	1,90
15	9,80	6,00	9,40	10,20	5,20	10,40	12,90	5,40	5,50	3,90	3,50	5,50	2,70	6,70	0,00	1,90	3,10	2,20	2,90	23,60	7,80	7,90	18,10	9,70	15,80	17,80	5,90	20,60	10,40	3,30	7,70	10,40	9,60	18,70	10,10	15,80	2,00
16	10,40	6,90	10,00	7,80	8,90	11,00	13,50	6,30	6,20	2,50	2,70	3,80	4,90	7,30	1,90	0,00	1,10	4,00	1,90	24,30	8,40	8,50	18,70	10,30	16,40	18,40	6,50	21,20	7,90	5,20	8,40	11,00	10,20	19,30	7,80	16,40	3,80
17	12,10	7,40	11,80	8,30	9,40	12,70	10,30	6,80	7,90	3,00	3,20	4,30	5,30	5,60	3,00	1,10	0,00	4,50	0,65	26,00	10,10	10,20	20,50	12,00	18,10	20,10	8,20	22,90	8,40	6,40	10,10	12,70	12,00	21,00	8,30	18,20	5,10
18	5,00	3,80	6,30	4,60	5,70	7,20	6,70	3,20	3,70	1,50	1,90	2,00	1,70	1,90	2,20	4,10	4,50	0,00	4,40	19,00	6,80	6,90	15,00	8,70	11,20	13,20	4,00	16,00	4,80	3,00	6,80	7,30	8,60	14,10	4,60	11,20	1,10
19	8,50	7,30	11,80	8,10	9,20	12,70	10,20	6,70	7,90	2,80	3,10	4,10	5,20	5,40	2,90	1,90	0,65	4,30	0,00	26,00	10,10	10,20	20,50	12,10	18,10	20,10	8,20	23,00	8,30	6,20	10,10	12,80	12,00	21,00	8,10	18,20	4,90
20	13,30	13,20	12,90	12,30	13,70	13,40	10,30	14,80	16,60	19,70	19,30	18,00	16,00	16,50	22,00	22,70	22,20	17,00	22,00	0,00	16,50	20,70	19,10	22,60	11,60	13,50	16,90	3,00	12,20	16,40	17,30	13,40	22,50	14,30	12,80	11,50	17,00
21	5,10	6,30	4,70	5,60	7,10	4,90	7,90	7,90	5,40	5,40	5,00	5,40	4,20	3,00	7,80	8,40	7,90	6,80	7,80	18,70	0,00	3,30	13,20	5,10	10,80	12,80	2,00	15,70	5,80	11,10	0,80	5,00	5,10	13,70	5,40	10,90	7,40
22	9,60	9,80	9,30	10,00	11,60	8,20	12,70	9,20	5,40	5,40	5,00	5,40	7,70	6,50	7,80	8,40	7,90	6,80	7,80	23,50	3,30	0,00	18,00	2,20	15,60	17,60	5,70	20,50	10,20	11,10	3,30	8,30	2,10	18,50	9,90	15,70	7,40
23	9,90	10,50	9,50	9,80	11,80	10,00	10,40	12,10	13,20	16,30	15,90	14,60	14,20	13,10	18,60	19,30	18,80	15,00	18,60	21,20	13,10	17,30	0,00	19,20	13,30	15,30	13,50	18,10	9,90	14,50	13,00	10,00	19,10	16,20	10,20	13,30	15,00
24	11,40	11,60	11,10	11,90	13,40	10,10	14,60	11,00	7,20	7,20	6,80	7,20	9,50	8,40	9,60	10,20	9,70	8,60	9,60	25,30	5,10	2,20	19,80	0,00	17,50	19,40	7,50	22,30	12,00	12,90	5,10	10,10	0,75	20,30	11,80	17,50	9,20
25	7,50	7,50	7,20	6,60	8,00	7,60	4,50	9,10	10,80	14,00	13,50	12,30	10,20	10,70	16,30	16,90	16,50	11,30	16,30	8,20	10,80	15,00	13,30	16,80	0,00	2,10	11,20	5,20	6,40	10,60	11,60	7,70	16,70	3,00	7,10	0,04	11,30
26	9,50	9,50	9,20	8,60	10,00	9,60	6,50	11,10	12,80	15,90	15,50	14,30	12,20	12,70	18,30	18,90	18,50	13,30	18,30	10,20	12,80	17,00	15,30	18,80	2,10	0,00	13,10	7,20	8,40	12,60	13,60	9,70	18,70	1,60	9,10	2,10	13,20
27	5,10	6,30	4,80	5,60	7,10	5,70	8,30	4,70	0,90	3,30	2,80	1,60	3,20	2,10	5,60	6,20	5,80	3,50	5,60	19,00	2,00	4,30	13,50	6,10	11,20	13,10	0,00	16,00	5,70	9,00	1,10	5,80	6,10	14,00	5,50	11,20	4,00
28	10,20	10,20	9,90	9,30	10,70	10,30	7,20	11,80	13,50	16,70	16,20	15,00	12,90	13,50	19,00	19,60	19,20	14,00	19,00	3,00	13,50	17,70	16,00	19,50	8,40	10,40	13,90	0,00	9,10	13,30	14,30	10,40	19,50	11,30	9,80	8,50	14,00
29	1,10	1,10	1,20	0,16	1,60	2,60	1,90	2,60	5,50	5,50	5,90	6,00	3,80	4,30	7,10	8,10	8,50	4,90	8,40	14,30	5,70	9,00	10,20	10,80	6,40	8,40	5,80	11,30	0,00	4,20	6,50	2,60	10,80	9,30	0,65	6,50	4,80
30	4,70	4,60	5,20	4,20	2,60	6,60	6,10	2,40	8,90	7,30	6,90	8,90	2,50	3,50	3,30	5,20	6,40	3,00	6,30	18,50	11,10	11,20	14,20	13,10	10,60	12,60	9,20	15,40	4,20	0,00	11,10	6,60	13,00	13,50	4,30	10,60	2,30
31	5,90	7,10	5,50	6,40	7,90	5,70	8,70	8,70	1,90	5,30	4,80	2,60	4,20	3,10	7,60	8,20	7,80	6,60	7,60	19,50	0,80	3,10	14,00	5,00	11,60	14,60	1,30	16,50	6,60	11,00	0,00	5,80	4,90	14,50	6,20	11,70	7,30
32	2,00	3,30	1,70	2,50	4,00	0,60	4,80	4,80	5,30	8,50	8,00	6,80	6,00	5,20	10,80	11,40	11,00	7,20	10,80	15,60	5,00	8,30	10,10	10,10	7,70	9,70	5,70	12,60	2,70	6,60	5,80	0,00	10,10	10,60	2,30	7,80	7,20
33	11,30	11,50	11,00	11,80	13,30	10,00	14,50	10,90	7,10	7,20	6,70	7,10	9,40	8,30	9,50	10,10	9,70	8,50	9,50	25,20	5,00	2,10	19,70	0,75	17,40	19,40	7,40	22,20	12,00	12,90	5,00	10,00	0,00	20,20	11,70	17,40	9,20
34	10,40	10,40	10,10	9,50	10,90	10,50	7,40	12,00	13,70	16,80	16,40	15,10	13,10	13,60	19,20	19,80	19,30	14,20	19,20	11,10	13,60	17,90															

Com objetivo de avaliar as ferramentas e soluções obtidas, foi elaborado um protocolo de avaliação, comparando aspectos como: funcionalidades, usabilidade, eficiência e portabilidade.

A funcionalidade tem como objetivo avaliar a satisfação dos usuários no atendimento das necessidades explícitas e implícitas. Por sua vez, a usabilidade apura a facilidade no uso do programa. A eficiência é observada a relação entre o tempo e os recursos envolvidos necessários ao uso do sistema. Por fim, a portabilidade avalia a capacidade das ferramentas de serem instaladas e portadas aos ambientes a serem utilizadas.

De acordo com Vivian e Rocha (2015) a norma NBR ISO/IEC 9126-1 possui um conjunto de características que estabelece o que deve ser verificado em um software para este ser considerado de qualidade, satisfazendo o usuário.

Para avaliação das ferramentas foram consideradas alguns atributos da NBR ISO/IEC 9126-1, conforme o Quadro 4

QUADRO 4 – PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS

Ferramenta		
Característica	Sub característica	Pergunta chave para a sub característica
Funcionalidade - Satisfaz as necessidades?	Adequação	Faz o que é apropriado?
	Acurácia	Faz o que foi proposto da melhor forma?
Usabilidade – É fácil de usar?	Inteligibilidade	É fácil entender o conceito e a aplicação?
	Apreensibilidade	É fácil aprender a usar?
Eficiência – É rápido?	Tempo	O tempo de resposta é rápido?
	Recursos	Utiliza poucos recursos?
Portabilidade – É fácil de usar em outro ambiente?	Adaptabilidade	É fácil adaptar a outros ambientes?
	Capacidade para ser instalado	É fácil instalar em outros ambientes?
	Capacidade para substituir	É fácil substituir por outros?

A próxima seção apresenta os métodos e ferramentas utilizadas na pesquisa.

3.4 MÉTODOS E FERRAMENTAS

Este trabalho utiliza algumas ferramentas de software livre, com objetivo de viabilizar a adoção da proposta pelas zonas eleitorais sem custo de ferramenta. Contudo, para fins de avaliação e comparação, algumas ferramentas utilizadas, mesmo não sendo software livre, são ferramentas com alto índice de usuários, por exemplo a ferramenta *Microsoft Excel*.

Para a seleção das ferramentas de solução do PCV, foi considerado a utilização de *softwares* já utilizados na literatura especializada, a fim de obter meios e instruções de como proceder com as mesmas.

3.4.1 OR-TOOLS COM LINGUAGEM PYTHON

Como primeira solução do PCV, fora utilizada a suíte *OR-Tools*, de código aberto para otimização do Google, ajustada para lidar com problemas de roteamento, fluxos, programação inteira e linear e programação de restrições.

A solução foi implementada na linguagem *Python*, devido a sua facilidade de programação, e sua alta utilização, sendo no ano de 2019 a terceira linguagem mais utilizada no mundo de acordo com o Ranking *Tiobe*, que mede a popularidade de linguagens. O próprio conjunto do *OR-Tools* fornece ao usuário um código pré-estabelecido como exemplo, de forma com que o usuário possa adapta-lo ao seu problema.

Para utilização desta ferramenta, foi instalada o pacote de ferramentas Anaconda, por ser um pacote *Open Source* que oferece de forma facilitada a execução de *Scripts* em *Python*, não sendo necessária instalação de bibliotecas adicionais e por já possuir de forma integrada uma *Integrated Development Environment* (IDE) para execução do *Script* em *Python*.

Para a solução do PCV com a biblioteca *OR-Tools*, foi utilizado a matriz de distância elaborada conforme a Figura 9. Como o código de implementação tem sua métrica em metros, foi necessário a adequação da matriz de distância para números inteiros, para que os cálculos sejam feitos corretamente e sem erros. Para esta adequação, simplesmente multiplica-se toda a distância por 1000, formando a matriz de distância em metros.

Com a utilização da *IDE (Integrated Development Enviroment) Spyder* presente no pacote, foi possível executar a otimização na matriz de distância com o *script* previamente fornecido e adaptado a fim de obter as rotas a serem percorridas conforme o Anexo A.

Os resultados obtidos com o script na linguagem de programação *Python* foram discutidos na próxima seção deste trabalho.

3.4.2 MICROSOFT EXCEL COM COMPLEMENTO SOLVER

Como alternativa à biblioteca OR-Tools oferecida pelo *Google*, foi utilizada a ferramenta MS-Excel, que mesmo não sendo software livre, se trata de uma ferramenta altamente utilizada e de fácil acesso, em conjunto do suplemento solver, utilizado para a solução do PCV.

Segundo Rojas (2002). o solver é um suplemento do MS-Excel que apresenta boa performance na solução de problemas sem que seja necessário adquiri-lo a parte ou incompatibilidade com o sistema operacional.

Para a solução na ferramenta MS-Excel utilizou-se também a matriz de distância conforme a Figura 9, porém, sem a necessidade de adequação da métrica de distância, uma vez que o complemento Solver do MS-Excel não distingue seus cálculos somente com números inteiros. Todavia, para respeitar a regra que a rota deve iniciar e terminar em um mesmo ponto, neste caso na zona eleitoral, foi excluída da matriz de distância o local da zona eleitoral. Então, onde anteriormente tinha-se a zona eleitoral como ID 1 na matriz de distância, têm-se o local 2 como ID 1. Essa medida foi necessária devido à limitação do modelo utilizado, em virtude do complemento solver não permitir uma restrição onde os locais não se repitam e sejam maior que 1 (referente ao ID da zona eleitoral).

A estratégia do modelo consiste em utilizar a matriz de distância para calcular a menor distância entre os locais, considerando um ponto objetivo, este sujeito à campos variáveis e sujeito a restrições. Para a execução do programa, demanda-se a atribuição de variáveis que indiquem uma possível solução para o problema, ou seja, um caminho que percorra todos os nós (locais). Para isso, de forma arbitrária, foi elaborado uma rota aleatória para comparar com a otimização fornecida pela ferramenta, conforme Figura 12.

FIGURA 12 - ROTA NÃO OTIMIZADA MICROSOFT EXCEL

Rota não otimizada	
Local	Distância
Zona Eleitoral	0
1	1,7
2	1,8
3	1,2
4	1,5
5	4
6	4,8
7	4,5
8	4,3
9	3,5
10	0,35
11	1,3
12	2,8
13	1,1
14	7,2
15	1,9
16	1,1
17	4,5
18	4,4
19	26
20	16,5
21	3,3
22	18
23	19,2
24	17,5
25	2,1
26	13,1
27	16
28	9,1
29	4,2
30	11,1
31	5,8
32	10,1
33	20,2
34	10
35	7,1
36	11,3
Zona Eleitoral	5
Distância Total	272,55

Fonte: O autor (2019)

Para elaboração desta rota, primeiramente, preenche-se a tabela de rota não otimizada onde na coluna local tem-se os endereços a serem percorridos, neste caso, partindo da zona eleitoral, visitando todos os locais de votação de forma sequencial e retornando à zona eleitoral. Para preenchimento da coluna distância, exceto pelos campos referente à zona eleitoral e local 1 que foram preenchidas de forma manual, para que o modelo respeite a regra de início e chegada, foi utilizado a função ÍNDICE do MS-Excel, replicado em todos os locais. A função ÍNDICE retorna um valor ou a referência a um valor de dentro de uma tabela ou intervalo, neste caso a matriz de distância. Neste caso, a função ÍNDICE é definida conforme a Figura 13.

FIGURA 13 - UTILIZAÇÃO FUNÇÃO ÍNDICE NO MICROSOFT EXCEL

The screenshot shows the Excel formula bar with the formula `=ÍNDICE('Matriz Excel (sem cartório)!'B2:AK37;'Aplicação Excel'!B5;'Aplicação Excel'!B6)`. Below the formula bar, a spreadsheet is visible with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
2		Rota não otimizada																		
3		Local	Distância																	
4		Zona Eleitoral	0																	
5			1																	
6			2																	

Fonte: O autor (2019)

Com uma rota estabelecida, o campo distância total é a função objetivo do PCV, a qual deve ser minimizada pelo algoritmo, tendo como variáveis os locais de votação. A função objetivo é obtida pela soma das distâncias dos locais percorridos, utilizando a função SOMA, que realiza a soma de determinado intervalo fornecido, conforme Figura 14.

FIGURA 14 - SOMA DAS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS MICROSOFT EXCEL

The screenshot shows the Excel formula bar with the formula `=SOMA(C5:C40)`. Below the formula bar, a spreadsheet is visible with the following data:

	A	B	C	D	E	F
39			35	7,1		
40			36	11,3		
41		Zona Eleitoral	5			
42		Distância Total	=SOMA(C5:C40)			

Fonte: O autor (2019)

A primeira rota criada, definida como rota não otimizada tem a única função de comparação de resultados. Então, com isso, foi criada uma tabela idêntica para a otimização do problema, sem preenchimentos, a qual recebe as configurações de variáveis e restrições do Solver, para que o algoritmo possa realizar a otimização e fornecer uma nova rota otimizada, conforme Figura 15.

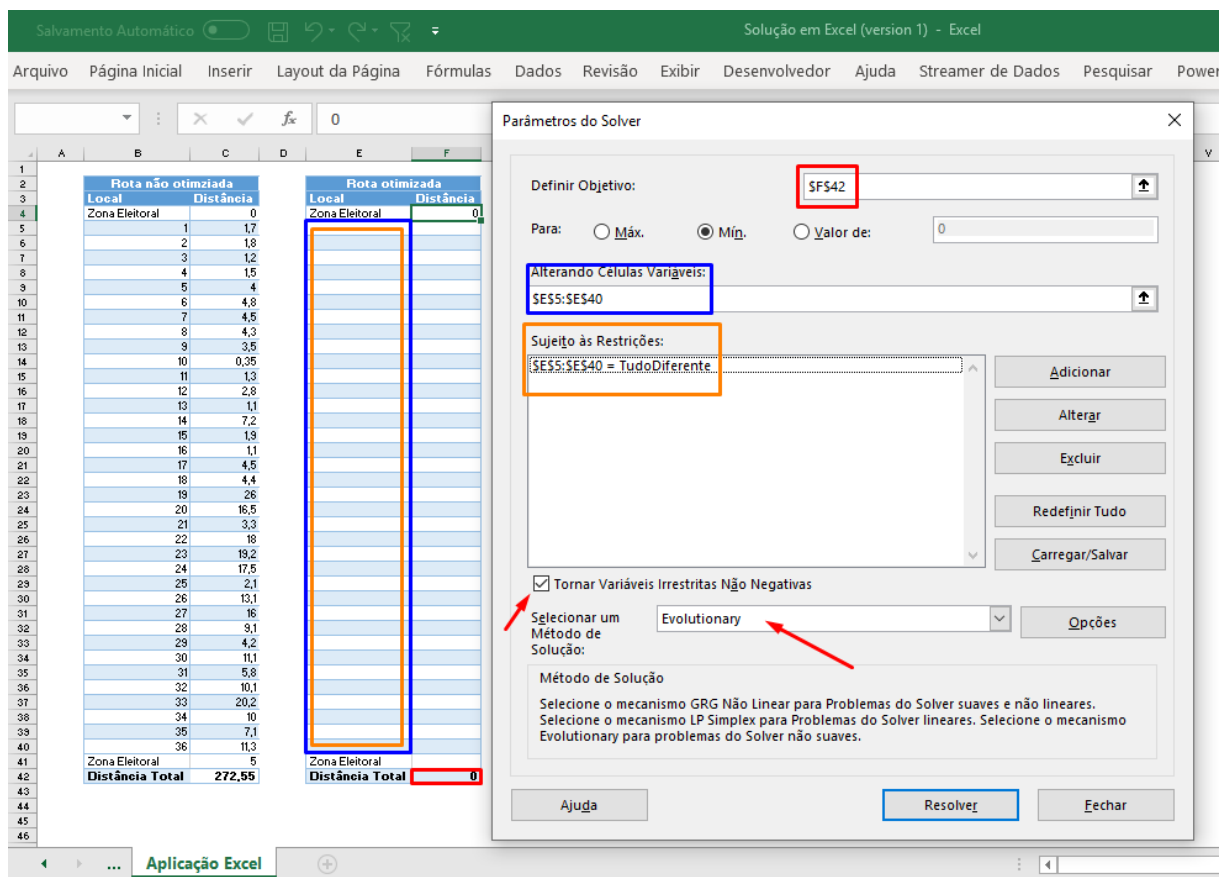
FIGURA 15 - ROTA NÃO OTIMIZADA E ROTA A SER OTIMIZADA

Rota não otimizada		Rota otimizada	
Local	Distância	Local	Distância
Zona Eleitoral	0	Zona Eleitoral	0
1	1,7		
2	1,8		
3	1,2		
4	1,5		
5	4		
6	4,8		
7	4,5		
8	4,3		
9	3,5		
10	0,35		
11	1,3		
12	2,8		
13	1,1		
14	7,2		
15	1,9		
16	1,1		
17	4,5		
18	4,4		
19	26		
20	16,5		
21	3,3		
22	18		
23	19,2		
24	17,5		
25	2,1		
26	13,1		
27	16		
28	9,1		
29	4,2		
30	11,1		
31	5,8		
32	10,1		
33	20,2		
34	10		
35	7,1		
36	11,3		
Zona Eleitoral	5	Zona Eleitoral	
Distância Total	272,55	Distância Total	0

Fonte: O autor (2019)

A partir disso, foi definido as restrições que otimizará o problema, configurando no complemento solver as restrições dos fluxos de entrada e saída, conforme Figura 16.

FIGURA 16 – CONFIGURAÇÃO PARÂMETROS SOLVER MS EXCEL



Fonte: O autor (2019)

No campo de objetivo foi definido a célula de soma de distâncias como valor a ser minimizado pelo Solver, sendo as células variáveis os referentes aos locais de votação, com exceção ao ponto de partida e de chegada, que foi fixado como sendo a zona eleitoral. Como restrições, foi definido que os campos referentes às células variáveis devem ser todos diferentes, de forma que o algoritmo não sugira uma rota com local repetido. Foi marcado o campo "Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas" para que o algoritmo não sugira rotas negativas, ou seja, inexistentes. Por fim, o método de solução selecionado foi o *Evolutionary* (evolucionário), que permite solucionar problemas não suaves. Segundo Fernando *et al.* (2019), o método evolucionário utiliza diversos algoritmos genéticos e métodos de procura local, sendo implementado pela Frontline Systems Inc.

Com a finalização da configuração dos parâmetros do Solver, inicia-se a resolução do PCV. Os resultados são demonstrados e discutidos na próxima seção.

3.4.3 PROGRAMAÇÃO EM R

A terceira abordagem para solução do PCV utiliza a linguagem de programação *R* em conjunto de complementos que auxiliam a solução do problema. Esta solução tem como referência a solução de Collier (2018) para otimização do PCV na linguagem *R*.

Foi utilizado a *IDE R Studio* para execução do script de automatização do PCV, instalação das bibliotecas necessárias e visualização da rota fornecida pelo script.

Para este estudo, utilizou-se as bibliotecas *dplyr*, *purrr*, *ggmap*, *gmapsdistance* e *TSP*. Estas bibliotecas em conjunto permitem chegar a uma solução para o problema do caixeiro viajante. Uma breve descrição das bibliotecas é descrita no Quadro 5.

QUADRO 5 - DESCRIÇÃO BIBLIOTECAS LINGUAGEM R

Biblioteca	Descrição
dplyr	Responsável pelo agrupamento e manipulação dos dados dentro da linguagem <i>R</i> .
purrr	Responsável pela programação funcional dentro da linguagem <i>R</i> , fornecendo um conjunto completo e consistente de ferramentas para trabalhar com funções e vetores.
ggmap	Responsável pela parte de visualização do problema a ser solucionado pela ferramenta, ou seja, é possível visualizar em um mapa os pontos a serem percorridos na rota otimizada pelo algoritmo.
gmapsdistance	Tem como utilidade a elaboração da matriz de distância para a solução do PCV, de forma automática, utilizando à <i>API distance matrix do Google</i> .
TSP	Biblioteca para a linguagem <i>R</i> responsável pela otimização do PCV, com base na matriz de distância fornecida pela biblioteca <i>gmapsdistance</i> .

Fonte: O autor (2019)

Para utilização da linguagem *R* não é necessária uma matriz de distância, uma vez que ela cria automaticamente uma matriz dentro da ferramenta com *API matrix distance* do *Google Cloud Platform*. Para isso, é necessário adquirir na plataforma de nuvem do *Google* uma chave para utilização desta API e consequentemente a geração da matriz de distância. Essa chave é fornecida de forma gratuita pelo *Google* durante um período de testes, gerando cobrança apenas quando o total de requisições (quantidade de vezes que a ferramenta busca informação de forma automática na API) mensais ultrapassam 1000 requisições.

Os resultados obtidos com o script na linguagem de programação *R* foram discutidas na próxima seção deste trabalho.

4 RESULTADOS

A seguir é apresentado a aplicação do PCV nas ferramentas selecionadas.

4.1 RESULTADOS SOLUÇÃO OR-TOOLS EM PYTHON

Para solução do PCV em Python com a biblioteca *OR-Tools* foi utilizada a matriz de distância em metros conforme informado na seção anterior.

Como variáveis, a ferramenta possibilita determinar qual será o ponto de início que automaticamente será também o ponto de chegada da rota estabelecida. É possível determinar também quantidade de veículos que será utilizada na solução do problema na variável, assim como a distância máxima total da rota estabelecida para todos os veículos e também a distância máxima individual de cada veículo. Os campos de variáveis podem ser visualizados na Figura 18 de acordo com o script em Python.

FIGURA 18 – CONFIGURAÇÃO DE VARIÁVEIS DA SOLUÇÃO EM PYTHON

```
# A variável data['num_vehicles'] determina a quantidade de veículos
data['num_vehicles'] = 4
# A variável data['depot'] determina o ponto de partida e chegada
data['depot'] = 0
return data

# A variável max_route_distance determina distância máxima total para rota
max route distance = 0

# O campo transit_callback_index adiciona restrições de distância máxima aos veículos.
dimension_name = 'Distance'
routing.AddDimension(
    transit_callback_index,
    0,
    40000, # Variável distância máxima para um veículo
    True, # Starta em zero
```

Fonte: O autor (2019)

Na variável *data['num_vehicles'] = 4* foi atribuído o total de 4 veículos na variável, sendo que estes veículos devem partir do ponto 0 definido na variável *data['depot'] = 0*, que é a zona eleitoral, por fim, foi delimitado que a distância máxima para um veículo é de 40000 metros ou 40 quilômetros na variável '*Distance*'.

O script em Python foi executado com as configurações estabelecidas nas variáveis, retornando a rota conforme a Figura 18.

FIGURA 19 - SOLUÇÃO APRESENTADA PELA PROGRAMAÇÃO EM PYTHON

```

Rota para o veículo 0:
0 -> 24 -> 35 -> 25 -> 22 -> 2 -> 0
Distância da Rota: 34594 metros

Rota para o veículo 1:
0 -> 3 -> 4 -> 29 -> 36 -> 14 -> 15 -> 16 -> 18 -> 9 -> 10 -> 11 -> 17 -> 7 -> 0
Distância da Rota: 25400 metros

Rota para o veículo 2:
0 -> 33 -> 19 -> 27 -> 6 -> 28 -> 34 -> 0
Distância da Rota: 34450 metros

Rota para o veículo 3:
0 -> 1 -> 12 -> 13 -> 8 -> 26 -> 30 -> 21 -> 32 -> 23 -> 20 -> 31 -> 5 -> 0
Distância da Rota: 27500 metros

Rota com maior distância: 34594 metros

```

Fonte: O autor (2019)

O resultado obtido com a ferramenta foram 4 rotas otimizadas, somando a distância total de todos veículos um total de 121,94 quilômetros. Se comparado com a simulação arbitrária da ferramenta MS-Excel conforme citado na seção anterior, é possível observar uma diferença de -150,60 quilômetros, ou -55,26%.

De acordo com a solução em Python, a lista de locais a serem percorridos para cada veículo pode ser observada no Quadro 6.

QUADRO 6 – LISTA DE LOCAIS ROTA OTIMIZADA PYTHON (Continua)

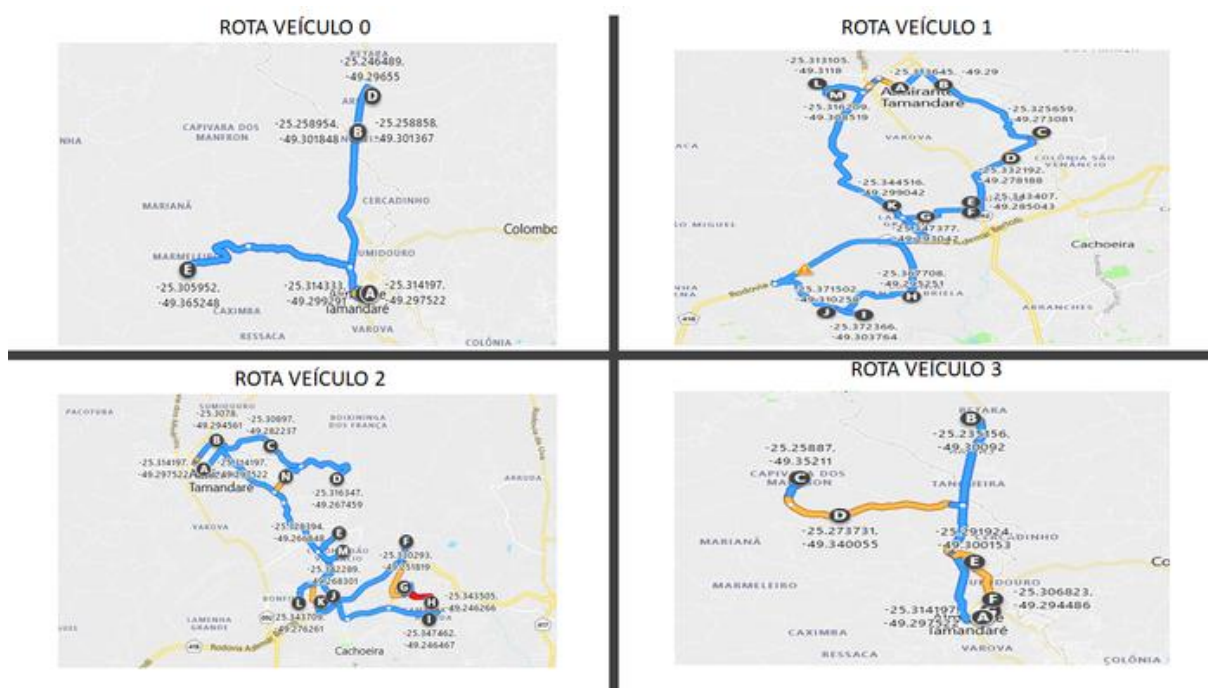
Veículo 0	#
ID	Local de votação / Zona eleitoral
0	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ
24	1457-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA ANGELA SANDRI TEIXEIRA
35	1589-ESCOLA MUNICIPAL BORTOLO LOVATO
25	1473-ESCOLA MUNICIPAL CLARA NADIR BUZATO
22	1317-ESCOLA RURAL MUNICIPAL OSVALDO AVELINO TREVISAN
2	1023-ESCOLA MUNICIPAL ALMIRANTE TAMANDARE
0	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ
Veículo 1	#
ID	Local de votação / Zona eleitoral
0	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ
3	1031-ESCOLA ESTADUAL AYRTON SENNA DA SILVA
4	1040-ESCOLA MUNICIPAL SÃO FRANCISCO
29	1511-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSOR ANTONIO RODRIGUES DIAS
36	1597-ESCOLA MUNICIPAL ARCO IRIS-CAIC
14	1163-ESCOLA MUNICIPAL ANTONIO PRADO

15	1171-ESCOLA ESTADUAL JARDIM APUCARANA
16	1180-ESCOLA ESTADUAL JARDIM GRAZIELE
18	1201-COLEGIO ESTADUAL MARIA LOPES DE PAULA
9	1112-COLÉGIO ESTADUAL EDMAR WRIGHT
10	1120-ESCOLA ESTADUAL ROSA FREDERICA JOHNSON
11	1139-ESCOLA MUNICIPAL ALEXANDRE PERUSSI
17	1198-ESCOLA ESTADUAL VILA AJAMBI
7	1090-ESCOLA MUNICIPAL LOURENCO ANGELO BUZATTO
0	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ
Veículo 2	#
ID	Local de votação / Zona eleitoral
0	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ
33	1562-ESCOLA RURAL MUNICIPAL LUIZ EDUARDO CUMIM
19	1252-ESCOLA RURAL MUNICIPAL MARIA CAVASSIM MANFRON
27	1490-ESCOLA RURAL MUNICIPAL JOÃO JOHNSON
6	1082-ESCOLA MUNICIPAL JOAO BATISTA DE SIQUEIRA
28	1503-ESCOLA MUNICIPAL ALVARENGA PEIXOTO
34	1570-COLEGIO ESTADUAL AMBROSIO BINI
0	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ
Veículo 3	#
ID	Local de votação / Zona eleitoral
0	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ
1	1015-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA JACI REAL PRADO DE OLIVEIRA
12	1147-ESCOLA MUNICIPAL JARDIM ROMA
13	1155-ESCOLA ESTADUAL PAPA JOAO PAULO I
8	1104-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA MIRTA NAVES PRODOCIMO
26	1481-IGREJA CATÓLICA SÃO SEBASTIÃO
30	1520-COLEGIO ESTADUAL TANCREDO NEVES
21	1309-ESCOLA COLÔNIA GABRIELA
32	1546-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA CLAIR DO ROCIO SANDRI
23	1430-FACOP - FUNDACAO DO ASSEIO E CONSERVACAO DO PARANA
20	1295-ESCOLA MUNICIPAL VEREADOR VICENTE KOCHANY
31	1538-ESC. MUN. PREF. EURIPEDES DE SIQUEIRA
5	1074-ESCOLA ESTADUAL JARDIM PARAISO
0	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ

Fonte: O autor (2019)

Como a ferramenta permite a divisão da solução por veículos, foi possível plotar pela ferramenta *Bing Maps* da *Microsoft* os mapas referentes às rotas estabelecidas pelo script em *Python*.

FIGURA 20 - ROTA OTIMIZADA EM PYTHON EM VISUALIZAÇÃO NO BING MAPS



Fonte: O autor (2019)

A otimização oferecida pelo script de Python em conjunto com o complemento OR-Tools se demonstrou eficiente, cumprindo a tarefa de otimizar as rotas. Exceto pela construção da matriz de distância que se deu de forma manual, todos os procedimentos da ferramenta foram elaborados de forma automatizada.

Esta ferramenta tem como diferencial a possibilidade de dividir a rota em vários veículos. Isso é algo essencial na otimização do objeto de estudo pelo PCV, uma vez que permite a realização de entrega à vários locais ao mesmo tempo, devido a divisão das rotas em veículos. Além da otimização em relação à distância, tem-se também uma otimização de tempo.

Outro ponto relevante é com relação ao tempo computacional que a ferramenta opera, conseguindo solucionar o problema em segundos com as variáveis propostas.

No Apêndice A é possível verificar o Script em Python utilizado para a solução do PCV neste trabalho.

4.2 RESULTADOS SOLUÇÃO EM MS-EXCEL®

Utilizando a base de distância mencionada anteriormente, foi utilizando a ferramenta MS-Excel como segunda ferramenta para solução do PCV.

Inicialmente, de acordo com a rota criada de forma arbitrária para comparação dos resultados conforme a Figura 15, na rota a ser percorrida, seria necessário a locomoção por 272,55 quilômetros, seguindo pelos locais conforme o Quadro 7.

QUADRO 7 - LISTA DE LOCAIS ROTA NÃO OTIMIZADA MS-EXCEL (Continua)

ID	Local de votação / Zona eleitoral
1	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ
2	1015-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA JACI REAL PRADO DE OLIVEIRA
3	1023-ESCOLA MUNICIPAL ALMIRANTE TAMANDARE
4	1031-ESCOLA ESTADUAL AYRTON SENNA DA SILVA
5	1040-ESCOLA MUNICIPAL SÃO FRANCISCO
6	1074-ESCOLA ESTADUAL JARDIM PARAISO
7	1082-ESCOLA MUNICIPAL JOAO BATISTA DE SIQUEIRA
8	1090-ESCOLA MUNICIPAL LOURENCO ANGELO BUZATTO
9	1104-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA MIRTA NAVES PRODOCIMO
10	1112-COLÉGIO ESTADUAL EDMAR WRIGTH
11	1120-ESCOLA ESTADUAL ROSA FREDERICA JOHNSON
12	1139-ESCOLA MUNICIPAL ALEXANDRE PERUSSI
13	1147-ESCOLA MUNICIPAL JARDIM ROMA
14	1155-ESCOLA ESTADUAL PAPA JOAO PAULO I
15	1163-ESCOLA MUNICIPAL ANTONIO PRADO
16	1171-ESCOLA ESTADUAL JARDIM APUCARANA
17	1180-ESCOLA ESTADUAL JARDIM GRAZIELE
18	1198-ESCOLA ESTADUAL VILA AJAMBI
19	1201-COLEGIO ESTADUAL MARIA LOPES DE PAULA
20	1252-ESCOLA RURAL MUNICIPAL MARIA CAVASSIM MANFRON
21	1295-ESCOLA MUNICIPAL VEREADOR VICENTE KOCHANY
22	1309-ESCOLA COLÔNIA GABRIELA
23	1317-ESCOLA RURAL MUNICIPAL OSVALDO AVELINO TREVISAN
24	1430-FACOP - FUNDACAO DO ASSEIO E CONSERVACAO DO PARANA
25	1457-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA ANGELA SANDRI TEIXEIRA
26	1473-ESCOLA MUNICIPAL CLARA NADIR BUZATO
27	1481-IGREJA CATÓLICA SÃO SEBASTIÃO
28	1490-ESCOLA RURAL MUNICIPAL JOÃO JOHNSON

29	1503-ESCOLA MUNICIPAL ALVARENGA PEIXOTO
30	1511-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSOR ANTONIO RODRIGUES DIAS
31	1520-COLEGIO ESTADUAL TANCREDO NEVES
32	1538-ESC. MUN. PREF. EURIPEDES DE SIQUEIRA
33	1546-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA CLAIR DO ROCIO SANDRI
34	1562-ESCOLA RURAL MUNICIPAL LUIZ EDUARDO CUMIM
35	1570-COLEGIO ESTADUAL AMBROSIO BINI
36	1589-ESCOLA MUNICIPAL BORTOLO LOVATO
37	1597-ESCOLA MUNICIPAL ARCO IRIS-CAIC
1	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ

Fonte: O autor (2019)

Aplicando a otimização pelo complemento solver com as configurações *default* foi obtida uma nova rota com distância a ser percorrida de 87,354 quilômetros, sem a adição da zona eleitoral como ponto de partida e chegada. Adicionando a zona eleitoral como ponto de partida e chegada, a nova distância é de 106,654 quilômetros.

A diferença entre a rota arbitrária e a rota otimizada pelo algoritmo é de -60,87% ou -165.90 quilômetros, mostrando a eficiência da ferramenta em relação à uma rota em que não é feita otimização, conforme a Figura 21.

FIGURA 21 - ROTA OTIMIZADA PELO MS EXCEL

Rota não otimizada		Rota otimizada	
Local	Distância	Local	Distância
Zona Eleitoral	0	1	0
1	1,7	23	9,7
2	1,8	32	10
3	1,2	21	5
4	1,5	20	18,7
5	4	30	16,4
6	4,8	26	12,6
7	4,5	11	15,5
8	4,3	8	4,2
9	3,5	13	2,1
10	0,35	17	5,4
11	1,3	36	18,2
12	2,8	9	10,9
13	1,1	10	3,5
14	7,2	18	1,5
15	1,9	16	4,1
16	1,1	15	1,9
17	4,5	14	6,7
18	4,4	29	4,2
19	26	12	6
20	16,5	34	15,1
21	3,3	5	10,9
22	18	31	7,9
23	19,2	2	7,1
24	17,5	28	12,2
25	2,1	3	9,9
26	13,1	4	1,2
27	16	7	2,1
28	9,1	1	3
29	4,2	6	1,8
30	11,1	24	10,1
31	5,8	35	11,8
32	10,1	33	10,9
33	20,2	25	17,4
34	10	19	16,3
35	7,1	27	8,2
36	11,3	22	4,3
Zona Eleitoral	5	1	9,6
Distância Total	272,55	Distância Total	106,654

Fonte: O autor (2019)

A lista dos locais a serem percorridos pela rota otimizada pode ser visualizada no Quadro 8.

QUADRO 8 - LISTA DE LOCAIS ROTA OTIMIZADA MS-EXCEL (Continua)

ID	Local de votação / Zona eleitoral
1	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ
23	1430-FACOP - FUNDACAO DO ASSEIO E CONSERVACAO DO PARANA
32	1546-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA CLAIR DO ROCIO SANDRI
21	1309-ESCOLA COLÔNIA GABRIELA
20	1295-ESCOLA MUNICIPAL VEREADOR VICENTE KOCHANY
30	1520-COLEGIO ESTADUAL TANCREDO NEVES
26	1481-IGREJA CATÓLICA SÃO SEBASTIÃO
11	1139-ESCOLA MUNICIPAL ALEXANDRE PERUSSI

8	1104-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA MIRTA NAVES PRODOCIMO
13	1155-ESCOLA ESTADUAL PAPA JOAO PAULO I
17	1198-ESCOLA ESTADUAL VILA AJAMBI
36	1597-ESCOLA MUNICIPAL ARCO IRIS-CAIC
9	1112-COLÉGIO ESTADUAL EDMAR WRIGTH
10	1120-ESCOLA ESTADUAL ROSA FREDERICA JOHNSON
18	1201-COLEGIO ESTADUAL MARIA LOPES DE PAULA
16	1180-ESCOLA ESTADUAL JARDIM GRAZIELE
15	1171-ESCOLA ESTADUAL JARDIM APUCARANA
14	1163-ESCOLA MUNICIPAL ANTONIO PRADO
29	1511-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSOR ANTONIO RODRIGUES DIAS
12	1147-ESCOLA MUNICIPAL JARDIM ROMA
34	1570-COLEGIO ESTADUAL AMBROSIO BINI
5	1074-ESCOLA ESTADUAL JARDIM PARAISO
31	1538-ESC. MUN. PREF. EURIPEDES DE SIQUEIRA
2	1023-ESCOLA MUNICIPAL ALMIRANTE TAMANDARE
28	1503-ESCOLA MUNICIPAL ALVARENGA PEIXOTO
3	1031-ESCOLA ESTADUAL AYRTON SENNA DA SILVA
4	1040-ESCOLA MUNICIPAL SÃO FRANCISCO
7	1090-ESCOLA MUNICIPAL LOURENCO ANGELO BUZATTO
1	1015-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA JACI REAL PRADO DE OLIVEIRA
6	1082-ESCOLA MUNICIPAL JOAO BATISTA DE SIQUEIRA
24	1457-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA ANGELA SANDRI TEIXEIRA
35	1589-ESCOLA MUNICIPAL BORTOLO LOVATO
33	1562-ESCOLA RURAL MUNICIPAL LUIZ EDUARDO CUMIM
25	1473-ESCOLA MUNICIPAL CLARA NADIR BUZATO
19	1252-ESCOLA RURAL MUNICIPAL MARIA CAVASSIM MANFRON
27	1490-ESCOLA RURAL MUNICIPAL JOÃO JOHNSON
22	1317-ESCOLA RURAL MUNICIPAL OSVALDO AVELINO TREVISAN
1	TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DE ALMIRANTE TAMANDARÉ

Fonte: O autor (2019)

A fim de tentar otimizar ainda mais a rota estabelecida pelo algoritmo, foram alteradas as configurações do Solver. Configurando o tamanho da população em 200 e tempo máximo sem aperfeiçoamento de 60.

Com essa configuração, o algoritmo retornou uma rota a ser percorrida de 92,204 quilômetros. Adicionando a zona eleitoral como ponto de início e chegada a distância a ser percorrida é de 111,504 quilômetros.

Como com a nova configuração não resultou em uma distância menor em relação a configuração padrão, não foi elaborada uma lista de locais a serem percorridos. Todavia, em relação à rota estabelecida de forma arbitrária, a distância foi reduzida em -59.09% ou -161.05 quilômetros.

A otimização oferecida pelo MS-Excel em complemento do Solver se demonstrou satisfatória, pois cumpriu o papel de otimizar a rota. A ferramenta também oferece um tempo computacional muito bom, demorando pouco mais de dois minutos para a otimização do problema, conforme o relatório de resultado.

Entretanto, o modelo aplicado na ferramenta não cumpre de forma automatizada alguns requisitos como:

- Não é possível iniciar a rota na zona eleitoral e terminar no mesmo ponto de forma automática, sendo necessário a inserção manual deste ponto, o que não é ideal pois aumenta a distância na rota fornecida pela ferramenta;
- Não possibilita dividir a rota, gerando uma rota única, não sendo possível a otimização do PCV em vários veículos, respeitando a regra de não passar em um mesmo local mais de uma vez.
- A solução na ferramenta MS-Excel também não permite nenhuma visualização sobre a rota a ser seguida, somente sendo possível obter a relação dos ID's a serem seguidos na rota única. Por sugerir uma rota única, não é possível também plotar com o auxílio da ferramenta *Google Maps* uma rota para veículos igual a solução do OR-Tools em Python.

No Anexo A é possível verificar os relatórios de resposta e população gerados pela ferramenta.

4.3 RESULTADOS SOLUÇÃO LINGUAGEM R

Conforme informado na seção de metodologia, para a solução do PCV na linguagem de programação R no modelo proposto é necessário a utilização da API do *Google Cloud Plataform* responsável pela formação da matriz de distância.

Durante o período de teste e adequações do problema nesta ferramenta notou-se a inviabilidade da utilização da ferramenta, devido a quantidade de requisições que era necessário à cada teste e ajustes.

Durante o mês de novembro de 2019 foram feitos testes a fim de chegar em um resultado para a solução do problema com essa ferramenta sem que houvesse

custos, no entanto, devido ao limite de requisições gratuitas, a ferramenta que tinha como foco ser software livre se tornou um software pago, e de custo elevado.

Conforme a Figura 20 é possível verificar a quantidade de requisições que a ferramenta utilizou nos últimos 30 dias, sem que conseguisse chegar em uma solução para o problema.

FIGURA 21 - REQUISIÇÕES API GOOGLE

APIs ativadas

Selecione uma API para visualizar os detalhes. Os números são dos últimos 30 dias.

API	↓ Solicitações	Erros	Latência média (ms)
Distance Matrix API	8.133	0	56
Geocoding API	1.083	5	315
Directions API	784	0	51
Maps Static API	100	0	462

Fonte: O autor (2019)

Sem que chegasse à uma solução para o problema, a ferramenta teve um custo de R\$ 302,71 conforme a imagem 21.

FIGURA 22 - CUSTOS UTILIZAÇÃO API

1 – 18 de nov. de 2019			Saldo final: R\$ 0,00
Data	Descrição	Valor (BRL)	
1 – 30 de nov. de 2019	Maps Static API Static Maps: 78 unidades [Conversão de moeda: USD para BRL usando a taxa 4.556]	R\$ 0,71	
1 – 30 de nov. de 2019	Geocoding API Geocoding: 596 unidades [Conversão de moeda: USD para BRL usando a taxa 4.556]	R\$ 13,58	
1 – 30 de nov. de 2019	Distance Matrix API Distance Matrix: 28 unidades [Conversão de moeda: USD para BRL usando a taxa 4.556]	R\$ 0,64	
1 – 30 de nov. de 2019	Distance Matrix API Distance Matrix Advanced: 6480 unidades [Conversão de moeda: USD para BRL usando a taxa 4.556]	R\$ 295,25	
1 – 30 de nov. de 2019	Directions API Directions: 404 unidades [Conversão de moeda: USD para BRL usando a taxa 4.556]	R\$ 9,20	

Fonte: O autor (2019)

A ferramenta *Google Cloud Platform* oferece também uma projeção dos custos na continuação da usabilidade da API, chegando no ponto em que se decidiu como inviável a utilização desta solução, conforme a imagem 22.

FIGURA 23 - RELATÓRIO DE FATURAMENTO E PROJEÇÃO GOOGLE CLOUD PLATFORM



Fonte: O autor (2019)

Na parte de testes da ferramenta incidiu um faturamento de R\$ 302,71, e mesmo assim não foi possível obter uma solução para o problema, com isso, o valor projetado para continuar usando a plataforma, de R\$ 726,48 somente no mês de novembro fez com que fosse encerrada a utilização da ferramenta, pois se tornaria inviável tanto para a continuação deste projeto quanto para uma possível aplicação.

4.4 AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS

Para avaliação das ferramentas foi utilizado o protocolo de avaliação proposto de acordo com o Quadro 4. Verifica-se a avaliação da solução na ferramenta MS-Excel de acordo com o protocolo estabelecido na seção de metodologia deste trabalho no Quadro 9.

QUADRO 9 – AVALIAÇÃO SOLUÇÃO MS-EXCEL

MS Excel			
Característica	Sub característica	Pergunta chave para a sub característica	Resposta
Funcionalidade - Satisfaz as necessidades?	Adequação	Faz o que é apropriado?	Sim, a ferramenta conseguiu solucionar de forma eficiente o PCV.
	Acurácia	Faz o que foi proposto da melhor forma?	Não, a ferramenta não conseguiu suprir algumas necessidades apresentadas durante a pesquisa, como iniciar a rota e terminar num mesmo ponto; dividir a rota em vários veículos; possibilidade de visualização as rotas por mapas.
Usabilidade – É fácil de usar?	Inteligibilidade	É fácil entender o conceito e a aplicação?	Sim, o MS Excel oferece a solução mais simples dentre todas as ferramentas selecionadas, de forma que nenhuma abordagem relatada seja de difícil reprodução.
	Apreensibilidade	É fácil aprender a usar?	Sim, a ferramenta MS Excel é de fácil entendimento, sendo comumente utilizado em várias organizações.
Eficiência – É rápido?	Tempo	O tempo de resposta é rápido?	Sim, o tempo de resposta é relativamente rápido. Na solução apresentada o tempo de solução foi de aproximadamente de 2 minutos.
	Recursos	Utiliza poucos recursos?	Sim, os recursos demandados são somente um computador com a ferramenta MS Excel instalada, com o complemento solver.
Portabilidade – É fácil de usar em outro ambiente?	Adaptabilidade	É fácil adaptar a outros ambientes?	A solução pode ser adaptada à qualquer ambiente que almeja otimizar rotas, sendo necessário ajustes para os caminhos a serem percorridos e restrições do seu problema.
	Capacidade para ser instalado	É fácil instalar em outros ambientes?	Sim, todavia há a necessidade de verificar em quais ambientes a ferramenta MS Excel é capaz de operar.
			Depende, para substituição a ferramenta a ser escolhida deverá proporcionar as mesmas funções utilizadas no MS Excel, como fórmulas, complemento solver etc.
	Capacidade para substituir	É fácil substituir por outros?	

Fonte: O autor (2019)

Verifica-se a avaliação da solução na ferramenta Python com OR-Tools de acordo com o protocolo estabelecido na seção de metodologia deste trabalho no Quadro 10.

QUADRO 10 – AVALIAÇÃO SOLUÇÃO PYTHON COM OR-TOOLS

Python com OR-Tools			
Característica	Sub característica	Pergunta chave para a sub característica	Resposta
Funcionalidade - Satisfaz as necessidades?	Adequação	Faz o que é apropriado?	Sim, a ferramenta conseguiu solucionar de forma eficiente o PCV.
	Acurácia	Faz o que foi proposto da melhor forma?	Sim, a ferramenta demonstrou a melhor adequação ao problema, conseguindo suprir as necessidades da pesquisa e ainda oferecer recursos adicionais em relação às outras.
Usabilidade – É fácil de usar?	Inteligibilidade	É fácil entender o conceito e a aplicação?	Depende, a solução na ferramenta Python com OR-Tools demanda que se tenha um conhecimento prévio em programação.
	Apreensibilidade	É fácil aprender a usar?	Depende, o usuário desta ferramenta necessita de conhecimento prévio em programação, caso contrário, torna-se difícil o entendimento.
Eficiência – É rápido?	Tempo	O tempo de resposta é rápido?	Sim, o tempo de resposta desta ferramenta é quase instantâneo ao solicitar a execução.
	Recursos	Utiliza poucos recursos?	Não, a ferramenta depende de outros recursos para seu funcionamento, como bibliotecas da linguagem de programação em Python e complementos. Todavia, todos os recursos da ferramenta são gratuitos.
Portabilidade – É fácil de usar em outro ambiente?	Adaptabilidade	É fácil adaptar a outros ambientes?	Sim, a ferramenta permite a aplicação em outros ambientes, com as devidas adequações.
	Capacidade para ser instalado	É fácil instalar em outros ambientes?	Sim, a ferramenta trabalha com linguagem de programação em Python, sendo possível instalar em qualquer sistema operacional.
	Capacidade para substituir	É fácil substituir por outros?	Sim, como a ferramenta utiliza linguagem de programação, é possível substituir esta programação para outras linguagens, como C, Java etc. A própria fornecedora da solução oferece o código fonte em outras linguagens.

Fonte: O autor (2019)

Mesmo com a não utilização da ferramenta na linguagem de programação em R, foi realizada a avaliação de acordo com o protocolo, a fim de observar as características da ferramenta. A avaliação pode ser verificada no Quadro 11.

QUADRO 11 – AVALIAÇÃO SOLUÇÃO LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO R

Linguagem de programação R			
Característica	Sub característica	Pergunta chave para a sub característica	Resposta
Funcionalidade - Satisfaz as necessidades?	Adequação	Faz o que é apropriado?	Sim, todavia, não foi possível chegar em uma solução para o PCV nesta ferramenta, devido aos problemas ocorridos na ferramenta em conjunto da biblioteca de cálculo de matriz de distância do Google.
	Acurácia	Faz o que foi proposto da melhor forma?	Depende, não foi possível chegar em uma solução para o PCV com esta ferramenta, todavia, a ferramenta tem uma proposta mais automatizada em relação as demais, por realizar os cálculos da matriz de distância de forma automática, sendo necessário somente fornecer os endereços.
Usabilidade – É fácil de usar?	Inteligibilidade	É fácil entender o conceito e a aplicação?	Depede, o usuário desta ferramenta necessita de conhecimento prévio em programação, caso contrário, torna-se difícil o entendimento. Tem-se também a necessidade de compreender as soluções de API do Google Cloud Platform para reproduzir a solução.
	Apreensibilidade	É fácil aprender a usar?	Depede, o usuário desta ferramenta necessita de conhecimento prévio em programação, caso contrário, torna-se difícil o entendimento.
Eficiência – É rápido?	Tempo	O tempo de resposta é rápido?	Sim, todavia a ferramenta foi a que demonstrou o maior tempo de processamento, chegando a levar nos testes cerca de 5 minutos para solução nos testes realizados.
	Recursos	Utiliza poucos recursos?	Não, a ferramenta demanda de recursos complementares para a solução do caixairo viajante. A ferramenta em R em especial demanda da utilização de API, o que demanda de recursos adicionais muito elevados, conforme elencado nos resultados deste trabalho.
Portabilidade – É fácil de usar em outro ambiente?	Adaptabilidade	É fácil adaptar a outros ambientes?	Sim, a ferramenta trabalha com linguagem de programação em R, sendo possível instalar em qualquer sistema operacional.
	Capacidade para ser instalado	É fácil instalar em outros ambientes?	Sim, a ferramenta trabalha com linguagem de programação em R, sendo possível instalar em qualquer sistema operacional.
	Capacidade para substituir	É fácil substituir por outros?	Sim, por se tratar de linguagem de programação, o script utilizado pode ser portado para outras linguagens.

Fonte: O autor (2019)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de urnas eletrônicas beneficiou toda a população brasileira, no que tange acessibilidade, utilização, tecnologia, rapidez na votação quanto na apuração dos votos. Corroborando para a segurança e democracia quanto a fraudes.

Entretanto, trouxe também um grande desafio logístico, que visa distribuir cerca de 500 mil urnas eleitorais no país, nos mais remotos lugares, para que todos exerçam o direito ao voto, direito o qual é constitucional.

Este estudo buscou elencar algumas ferramentas que possibilitem a otimização das entregas das urnas eleitorais aos locais de votação, especificamente na zona eleitoral de Almirante Tamandaré, com finalidade de reduzir custos nesta operação, possibilitando melhor organização para os pleitos eleitorais.

Quando comparado os resultados das ferramentas aplicadas, pode-se observar que as ferramentas realmente conseguem otimizar as rotas com base nos endereços fornecidos, mostrando a eficácia obtida ao utilizar ferramentas de roteirização em relação a rotas estabelecidas sem critérios.

Com a aplicação do PCV com a ferramenta Python foi possível obter rotas otimizadas que chegam ser 55% menores em relação a rotas não otimizadas, respeitando critérios de definição de ponto de chegada e partida, assim como divisão das rotas otimizadas em vários veículos, a fim de otimizar também o tempo em que se distribui todas as urnas eleitorais.

Para a ferramenta MS Excel foi obtida rotas otimizadas com diminuição de cerca de 60% em relação a rotas não otimizadas, sendo que essa diferença representa uma diminuição de mais de 160 quilômetros na rota a ser percorrida. Infelizmente, no modelo adotado não foi possível realizar a divisão para múltiplos veículos, afim de otimizar também o tempo, entretanto, a ferramenta se demonstrou satisfatória em relação à otimização das rotas.

Por fim, para a aplicação do PCV com a ferramenta em linguagem R não foi logrado êxito, entretanto, contribuiu para se ter a visão dos custos que as ferramentas de otimização podem trazer para quem os utiliza. Para esta ferramenta, foi utilizando pouco mais de R\$300,00 nas tentativas de solução, sem que fosse possível obter rotas otimizadas. Isso traz à tona a realidade quando pretende-se utilizar recursos muitas vezes elencados como gratuitos para testes, mas que com ampla utilização possui custos demasiados elevados.

5.2 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS PROPOSTOS

A fim de atingir o objetivo geral deste estudo, a aplicação do PCV na distribuição de urnas eleitorais na zona eleitoral de Almirante Tamandaré, foi necessário alcançar três objetivos específicos.

O primeiro objetivo específico tinha como proposta selecionar ferramentas para aplicação do PCV na literatura especializada. Este objetivo foi atingido ao selecionar as três ferramentas utilizadas neste trabalho: Python com a biblioteca OR-Tools do Google, MS-Excel com o complemento solver e a ferramenta R, esta última não utilizada devido aos elevados custos na sua execução.

O segundo objetivo específico – realizar experimentos utilizando uma base de dados como teste nas ferramentas selecionadas – foi atingido ao conseguir utilizar a base coletada no Tribunal Regional Eleitoral do Paraná para aplicação nas ferramentas, levando em consideração a zona eleitoral de Almirante Tamandaré.

O terceiro objetivo específico – obter rotas otimizadas a partir dos experimentos realizados na base de testes com as ferramentas selecionadas – foi alcançado com as ferramentas selecionadas de acordo com o primeiro objetivo. A partir das ferramentas selecionadas foi possível obter rotas otimizadas com experimentos realizados na base coletada do TRE-PR, conforme o segundo objetivo específico. A ferramenta Python com OR-Tools demonstrou melhor eficácia na otimização das rotas, devido ao fato que conseguir dividir as rotas em diferentes veículos, tornando a distribuição de urnas mais facilitada com a utilização de mais de um veículo, diferente da solução no MS-Excel com o complemento solver, que permitiu apenas a geração de uma rota única, o que levaria num gasto de tempo consideravelmente maior na utilização desta rota.

Por fim, o quarto objetivo - avaliar os resultados gerados pelas ferramentas – foi possível com a elaboração do protocolo estabelecido, sendo possível avaliar, por parte do pesquisador, os resultados gerados pelas ferramentas, elucidando questões como funcionalidade, usabilidade, eficiência e portabilidade.

Com os objetivos específicos satisfeitos, foi possível satisfazer também o objetivo geral, aplicar o PCV na distribuição de urnas eleitorais na zona eleitoral de Almirante Tamandaré.

5.3 TRABALHOS FUTUROS

É sugerido como trabalhos futuros a efetiva implantação de alguma ferramenta citada nesta pesquisa, principalmente a ferramenta em Python, pois utiliza da linguagem de programação mais utilizada no ano deste trabalho e com constante crescimento no mercado. A efetiva implantação desta ferramenta para otimização de rotas possibilita, conforme demonstrado neste trabalho, a otimização na distribuição de urnas eleitorais, possibilitando uma melhor organização dos pleitos, não somente na cidade de Almirante Tamandaré, mas em todas cidades que possam ter a oportunidade de utilizar a ferramenta.

Por fim, também como possível trabalho futuro, a aplicação do PCV em outras ferramentas, com diferentes aplicações, de forma que se obtenha resultados melhores aos que foram obtidos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, Charlliany Ferreira de *et al.* Estudo de roteirização de veículos: aplicação da técnica de varredura em uma indústria de artigos de sono. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35. 2015, Fortaleza, CE, 2015. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_206_222_28320.pdf. Acesso em: 17 jun. 2019.

ALVES, Raquel das Graças; ZAGO, Camila Avosani. A importância da roteirização no nível de serviço: um estudo na rga operações logísticas e locação Ltda. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, 34. 2016, João Pessoa, PB, 2016. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn_sto_226_319_29604.pdf. Acesso em: 21 jun. 2019.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeira de suprimentos/logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BELFIORE, Patrícia Prado; COSTA, Oswaldo Luis do Valle; FÁVERO, Luiz Paulo Lopes. Problema de estoque e roteirização: revisão bibliográfica. **Produção**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 442-454, Set/Dez 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prod/v16n3/a07v16n3.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2019.

BRASIL. **Constituição**. República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/ConstituicaoCompilado.htm. Acesso em: 17 jun. 2019.

BRASIL. Presidência da República. Decreto n. 9.504, de 30 de setembro de 1997. Trabalhos Acadêmicos. Estabelece normas para as eleições. Brasília, 30 de setembro de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9504.htm. Acesso em: 10 jun. 2019.

CHOO, Chun Wei. **A organização do conhecimento**: Como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões. São Paulo: Senac São Paulo, 2003. 425 p.

COLLIER, Andrew B. **Travelling salesman with ggmap**. Datawookie. 2018. Disponível em: <https://datawookie.netlify.com/blog/2018/05/travelling-salesman-with-ggmap/>. Acesso em: 10 out. 2019.

CUNHA, Claudio Barbieri da. Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de veículos a problemas reais. **Transportes**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 183, 2000. Disponível em:

<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/188>. Acesso em: 27 Mai. 2019.

DADOS, Informação, Conhecimento, Ideia e Sabedoria. **Mobi mais**. 2016. Disponível em: <http://mobimais.com.br/blog/dados-informacao-conhecimento-ideia-e-sabedoria/>. Acesso em: 10 jun. 2019.

DAVENPORT, Thomas H. **Ecologia da informação**: por que só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação. 1. ed. São Paulo: Futura, 1998. 316 p.

DAVENPORT, Thomas H.; PRUSAK, Laurence. **Conhecimento empresarial**: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

DIAS, Marco Aurélio. **Introdução à logística**: fundamentos, práticas e integração. São Paulo: Atlas, 2017. 327 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597009927/cfi/6/34!/4/564/2@0:0>. Acesso em: 4 jun. 2019.

ENOMOTO, Leandro Minoru; LIMA, Renato da Silva. Análise da Distribuição Física e Roteirização em um atacadista. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 94-108, Jan/Abr 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prod/v17n1/06.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2019.

FERNANDO, Paulo Henrique Lixandrão *et al.* O problema do caixeiro viajante aplicado na distribuição de peças/componentes do almoxarifado para a montagem de caminhões especiais em uma linha de produção na indústria automobilística. **Sinergia**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 61-72, jan./mar. 2019. Disponível em: <https://ojs.ifsp.edu.br/index.php/sinergia/article/view/389>. Acesso em: 14 nov. 2019.

FONSECA, João José Saraiva da. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza, CE, 2002. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GUEDES, Allison da Costa Batista; LEITE, Jéssica Neiva de Figueiredo; ALOISE, Dario José. Um algoritmo genético com infecção viral para o problema do caixeiro viajante. **Revista Publica**, Natal, v. 1, n. 1, p. 16-24, 23 out 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/publica/article/view/125/121>. Acesso em: 20 jun. 2019.

KRETZSCHMAR, Luiz Antonio; NUNES, Luiz Fernando; BENEVIDES, Paula Francis. Análise de resultados para construção de rota para o problema do caixeiro viajante. In: CONGRESSO DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL - SUDESTE, 34. 2013. 217-222 p. Disponível em:

<http://www.sbmacc.org.br/cmacc/cmacc-se/2013/trabalhos/PDF/4374.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

MARCHIORI, Patricia Zeni. A ciência e a gestão da informação: compatibilidades no espaço profissional. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 72-79, mai/ago 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ci/v31n2/12910.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2019.

MATOS, Carlos Alberto de Matos Junior *et al.* O papel da roteirização na redução de custos logísticos e melhoria do nível de serviço em uma empresa do segmento alimentício no Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 20. 2013, Uberlândia, MG, 2013. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/viewFile/186/186>. Acesso em: 17 jun. 2019.

MCGEE, James; PRUSAK, Laurence. **Gerenciamento estratégico da informação**: Aumente a competitividade e a eficiência de sua empresa utilizando a informação como uma ferramenta estratégica. Tradução Astrid Beatriz de Figueiredo. 6. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1994. 244 p. Tradução de: Managing Information Strategically.

MELO, André Cristiano da Silva; FERREIRA, Virgílio José Martins Ferreira Filho. Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos. **SEBRAPO**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 223-232, jun-dez 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pope/v21n2/a07v21n2.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2019.

MEZZARROBA, Orides; ROVER, Aires José. Urna eletrônica: sua contribuição para o aperfeiçoamento da democracia representativa partidária brasileira. In: MEZZARROBA, Orides; ROVER, Aires José. **DERECHO, gobernanza y tecnologías de la información en la sociedad del conocimiento**. 1. ed. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, v. 1, 2009. 279 p, p. 64-73. (LEFIS7). Disponível em: <http://www.egov.ufsc.br/portal/conteudo/publica%C3%A7%C3%A3o-urna-eletr%C3%B4nica-sua-contribui%C3%A7%C3%A3o-para-o-aperfei%C3%A7oamento-da-democracia-representa>. Acesso em: 17 jun. 2019.

NICOLAU, Jairo. **Eleições no Brasil**: Do Império aos dias atuais. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, v. 1, 2012. 129 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788537809105/cfi/6/34!/4/4/2@0:0>. Acesso em: 22 mai. 2019.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e gerenciamento na cadeia de distribuição**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ROJAS, Alexandre. Resolvendo problemas de programação linear com o MS Solver. **Cadernos do IME - Série Informática**, v. 13, p. 69-76, Dez. 2002. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/cadinf/article/view/6593/4691>. Acesso em: 14 nov. 2019.

SILVA, Wederson Adriano Lourenço da. **Algoritmo Genético para Resolução do Problema do Caixeiro Viajante**. Barbacena, MG, 2010, p. 1-13. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência da Computação) - Unipac - Universidade Presidente Antônio Carlos, 2010. Disponível em: <http://ftp.unipac.br/site/bb/tcc/tcc-6d5ef5a0b590d188208b8506ec95663c.pdf>. Acesso em: 20 Jun. 2019.

SPANCERSKI, Jandrei Sartori *et al.* Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante para solução de um problema logístico de roteirização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, VII. 2017. 2017. Disponível em: <http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2017/down.php?id=3559&q=1>. Acesso em: 20 Jun. 2019.

TARAPANOFF, Kira. **Inteligência, informação e conhecimento**. Brasília, v. 1, 2006. 453 p. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/465/1/Inteligencia%2c%20informa%C3%A7%C3%A3o%20e%20conhecimento.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2019.

TRE-PR. **Paraná adota novo modelo de transporte de urnas. Tribunal Regional Eleitoral do Paraná**. Curitiba, 2018. Disponível em: <http://www.tre-pr.jus.br/imprensa/noticias-tre-pr/2018/Outubro/parana-adota-novo-modelo-de-transporte-de-urnas>. Acesso em: 16 jun. 2019.

TSE. **Depósito de urnas. Tribunal Superior Eleitoral**. 2018. Disponível em: <http://www.tse.jus.br/o-tse/cultura-e-historia/o-tse/sede-atual/videos-nova-sede/deposito-de-urnas>. Acesso em: 21 jun. 2019.

VIEIRA, Heloisa Passarelli. **Metaheurística para a solução de problemas de Veículos com Janela de Tempo**. Campinas, SP, 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2013. Disponível em: https://www.ime.unicamp.br/~chico/tese_heloisa.pdf. Acesso em: 17 jun. 2019.

VIVIAN, Franciéle Cristina; ROCHA, Adilson Carlos da. Avaliação da qualidade de sistema de informação: o caso da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus Francisco Beltrão. **Revista eletrônica de sistemas de informação e gestão tecnológica**, Franca, v. 05, n. 1, p. 12-38, 2015. Disponível em: https://www.google.com/url?q=http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/resiget/article/download/924/768&sa=D&source=hangouts&ust=1574421823492000&usg=AFQjCNHavKnTe3kCWh8OcSzQKi1-9_JJXg. Acesso em: 19 nov. 2019.

APÊNDICE A — SCRIPT EM PYTHON PARA SOLUÇÃO DO PCV

APLICAÇÃO DO PROBLEMA CAIXEIRO VIAJANTE NA
DISTRIBUIÇÃO DE URNAS ELEITORAIS NA ZONA ELEITORAL DE ALMIRANTE
TAMANDARÉ #

Os campos abaixo são responsáveis pela importação das bibliotecas para
utilização no problema.

```
from __future__ import print_function
from ortools.constraint_solver import routing_enums_pb2
from ortools.constraint_solver import pywrapcp
```

A função abaixo cria e armazena um modelo de dados da matriz de
distância para resolução do problema.

```
def create_data_model():
```

```
    data = {}
```

```
    data['distance_matrix'] = [
```

```
[0,1700,500,1000,2500,1800,3100,3300,4600,6200,7300,6000,4400,4500,10100,
```

```
10700,10200,5500,10100,15200,5000,8700,9700,10600,7300,9300,4900,12200,120
```

```
0,
```

```
5100,5800,1900,10500,10200,850,7400,5500],
```

```
[1200,0,1800,800,1900,3200,2900,1600,4900,4500,4800,4900,2700,3200,6000,
```

```
7000,7500,3800,7300,15300,6300,9800,10800,11700,7400,9400,5300,12200,1000,
```

```
4600,7100,3200,11600,10300,850,7400,3800],
```

```
[350,1500,0,1200,2300,1800,3200,3100,4400,6000,7100,5800,4200,4300,9900,105
```

```
00,
```

10000,5300,9900,15100,4900,8500,9600,10400,7200,9200,4700,12100,1300,4900,
5700,

1800,10300,10100,650,7300,5200],

[1000,900,1000,0,1500,2400,2100,2500,5300,5400,5700,5800,3600,4100,7000,790
0,

8400,4700,8200,14400,5600,8900,10100,10700,6600,8600,5600,11400,160,4200,6
400,

2500,10600,9500,600,6600,4700],

[2100,1900,2600,1500,0,4000,3500,1400,6900,6400,6800,6900,4700,5200,5200,90
00,

9400,5700,9300,15800,7100,10400,11600,12200,8000,10000,7200,12800,1600,260
0,

7900,4000,12200,10900,1600,8000,5700],

[1900,3200,1600,2500,3900,0,4800,4800,5300,8400,8000,6700,5900,5200,10800,

11400,10900,7200,10800,15500,4900,8200,10000,10100,7700,9700,5600,12500,26
00,

6500,5700,600,10000,10500,2300,7700,7100],

[3000,3000,3100,2100,3500,4700,0,4500,7900,7400,7800,9400,5700,7800,13400,

10000,10400,6800,10300,12400,7900,12100,10400,13900,4500,6500,8200,9400,
1900,6100,8700,4800,13800,7400,2600,4600,6700],

[2800,1600,3400,2400,1400,4800,4500,0,4300,3900,4200,4300,2100,2600,5400,

6400,6900,3200,6700,16800,7900,9200,12400,11100,9000,11000,4600,13800,2600

,

2400,5700,4800,11000,11900,2400,9000,3200],

[5300,6500,5000,5800,7300,5900,8400,4900,0,3500,3000,1800,3400,2200,5800,

6400,6000,3700,5800,19200,4400,4500,13700,6300,11300,13300,650,16200,5900,
9200,1700,6000,6200,14200,5700,11400,4200],

[5700,4500,7100,5300,6400,8000,7400,3900,3200,0,350,1300,2400,2600,3900,

2500,3000,1500,2800,21300,5400,5500,15800,7300,13400,15400,3500,18200,
5500,7300,5400,8000,7300,16300,5300,13500,2100],

[10000,4800,6600,5700,6800,7600,10100,4200,2700,350,0,1300,2800,3900,

3500,4100,3300,1900,3100,20800,4900,5100,15300,6900,13000,15000,3100,17800

,

5800,6800,4900,7600,6800,15900,7300,13000,2500],

[6200,4900,5800,6600,6900,6800,9300,4300,1900,1300,1300,0,2800,3100,

4600,3900,4300,1900,4200,20000,4600,4800,14500,6600,12200,14200,2300,17000

,

6800,7900,4600,6800,6500,15100,6500,12200,2600],

[4000,2700,4500,3600,4700,5900,5600,2100,2900,2400,2700,2800,0,1100,

2700,4900,5400,1700,5200,18000,7600,7800,14200,9600,10100,12100,3200,15000

,

3700,2400,4200,6000,9500,13000,3600,10200,1000],

[4700,3200,4400,4000,5200,5300,7800,2600,1700,2600,3000,3200,1100,0,

7200,5200,5600,2000,5500,18600,3000,5900,13100,7700,10700,12700,2000,
15600,4200,3500,3100,5400,7600,13600,5000,10800,1900],

[9800,6000,9400,10200,5200,10400,12900,5400,5500,3900,3500,5500,2700,

6700,0,1900,3100,2200,2900,23600,7800,7900,18100,9700,15800,17800,5900,20600,

10400,3300,7700,10400,9600,18700,10100,15800,2000],

[10400,6900,10000,7800,8900,11000,13500,6300,6200,2500,2700,3800,4900,

7300,1900,0,1100,4000,1900,24300,8400,8500,18700,10300,16400,18400,6500,21200,7900,5200,8400,11000,10200,19300,7800,16400,3800],

[12100,7400,11800,8300,9400,12700,10300,6800,7900,3000,3200,4300,

5300,5600,3000,1100,0,4500,650,26000,10100,10200,20500,12000,18100,20100,8200,22900,8400,6400,10100,12700,12000,21000,8300,18200,5100],

[5000,3800,6300,4600,5700,7200,6700,3200,3700,1500,1900,2000,1700,

1900,2200,4100,4500,0,4400,19000,6800,6900,15000,8700,11200,13200,4000,16000,4800,3000,6800,7300,8600,14100,4600,11200,1100],

[8500,7300,11800,8100,9200,12700,10200,6700,7900,2800,3100,4100,5200,5400,

2900,1900,650,4300,0,26000,10100,10200,20500,12100,18100,20100,8200,23000,8300,6200,10100,12800,12000,21000,8100,18200,4900],

[13300,13200,12900,12300,13700,13400,10300,14800,16600,19700,19300,18000,

16000,16500,22000,22700,22200,17000,22000,0,16500,20700,19100,22600,11600,

13500,16900,3000,12200,16400,17300,13400,22500,14300,12800,11500,17000],

[5100,6300,4700,5600,7100,4900,7900,7900,5400,5400,5000,5400,4200,3000,7800

,

8400,7900,6800,7800,18700,0,3300,13200,5100,10800,12800,2000,15700,5800,11
100,800,

5000,5100,13700,5400,10900,7400],

[9600,9800,9300,10000,11600,8200,12700,9200,5400,5400,5000,5400,7700,6500,

7800,8400,7900,6800,7800,23500,3300,0,18000,2200,15600,17600,5700,20500,

10200,11100,3300,8300,2100,18500,9900,15700,7400],

[9900,10500,9500,9800,11800,10000,10400,12100,13200,16300,15900,14600,1420
0,13100,

18600,19300,18800,15000,18600,21200,13100,17300,0,19200,13300,15300,13500,
18100,9900,

14500,13000,10000,19100,16200,10200,13300,15000],

[11400,11600,11100,11900,13400,10100,14600,11000,7200,7200,6800,7200,9500,
8400,

9600,10200,9700,8600,9600,25300,5100,2200,19800,0,17500,19400,7500,22300,

12000,12900,5100,10100,750,20300,11800,17500,9200],

[7500,7500,7200,6600,8000,7600,4500,9100,10800,14000,13500,12300,10200,

10700,16300,16900,16500,11300,16300,8200,10800,15000,13300,16800,0,2100,

11200,5200,6400,10600,11600,7700,16700,3000,7100,44,11300],

[9500,9500,9200,8600,10000,9600,6500,11100,12800,15900,15500,14300,

12200,12700,18300,18900,18500,13300,18300,10200,12800,17000,15300,18800,

2100,0,13100,7200,8400,12600,13600,9700,18700,1600,9100,2100,13200],

[5100,6300,4800,5600,7100,5700,8300,4700,900,3300,2800,1600,3200,2100,

5600,6200,5800,3500,5600,19000,2000,4300,13500,6100,11200,13100,0,16000,
5700,9000,1100,5800,6100,14000,5500,11200,4000],

[10200,10200,9900,9300,10700,10300,7200,11800,13500,16700,16200,15000,

12900,13500,19000,19600,19200,14000,19000,3000,13500,17700,16000,19500,

8400,10400,13900,0,9100,13300,14300,10400,19500,11300,9800,8500,14000],

[1100,1100,1200,160,1600,2600,1900,2600,5500,5500,5900,6000,3800,4300,

7100,8100,8500,4900,8400,14300,5700,9000,10200,10800,6400,8400,5800,11300,
0,4200,6500,2600,10800,9300,650,6500,4800],

[4700,4600,5200,4200,2600,6600,6100,2400,8900,7300,6900,8900,2500,3500,

3300,5200,6400,3000,6300,18500,11100,11200,14200,13100,10600,12600,9200,
15400,4200,0,11100,6600,13000,13500,4300,10600,2300],

[5900,7100,5500,6400,7900,5700,8700,8700,1900,5300,4800,2600,4200,3100,

7600,8200,7800,6600,7600,19500,800,3100,14000,5000,11600,14600,1300,16500,
6600,11000,0,5800,4900,14500,6200,11700,7300],

[2000,3300,1700,2500,4000,600,4800,4800,5300,8500,8000,6800,6000,5200,

10800,11400,11000,7200,10800,15600,5000,8300,10100,10100,7700,9700,5700,
12600,2700,6600,5800,0,10100,10600,2300,7800,7200],

```

[11300,11500,11000,11800,13300,10000,14500,10900,7100,7200,6700,7100,9400,
8300,9500,10100,9700,8500,9500,25200,5000,2100,19700,750,17400,19400,
7400,22200,12000,12900,5000,10000,0,20200,11700,17400,9200],

[10400,10400,10100,9500,10900,10500,7400,12000,13700,16800,16400,15100,
13100,13600,19200,19800,19300,14200,19200,11100,13600,17900,16200,
19700,3000,1600,14000,8100,9300,13500,14400,10600,19600,0,10000,3000,14100
],

[400,800,900,500,1600,2200,2600,2400,5000,5300,5600,5700,3600,4000,6900,
7800,8300,4600,8100,14900,5400,9200,10100,11000,7100,9100,5300,11900,650,
4300,6200,2300,10900,9900,0,7100,4600],

[7600,7500,7200,6600,8000,7700,4600,9100,10900,14000,13600,12300,10300,
10800,16400,17000,16500,11300,16400,8300,10800,15000,13400,16900,44,2100,
11200,5200,6500,10700,11600,7700,16800,3000,7100,0,11300],

[5000,3800,6300,4600,5700,7200,6600,3200,3700,2100,2500,2600,1000,1900,
2000,3800,5100,1100,5000,20500,7400,7500,15000,9300,12700,14600,4000,17500
,
4700,2300,7400,7300,9200,15500,4600,12700,0]
]
# A variável data['num_vehicles'] determina a quantidade de veículos
data['num_vehicles'] = 4
# A variável data['depot'] determina o ponto de partida e chegada
data['depot'] = 0
return data

```

```

# Imprime a solução do problema no console.
def print_solution(data, manager, routing, solution):
# A variável max_route_distance determina distância máxima total para rota
    max_route_distance = 0
    for vehicle_id in range(data['num_vehicles']):
        index = routing.Start(vehicle_id)
        plan_output = 'Rota para o veículo {}: \n'.format(vehicle_id)
        route_distance = 0
        while not routing.IsEnd(index):
            plan_output += ' {} -> '.format(manager.IndexToNode(index))
            previous_index = index
            index = solution.Value(routing.NextVar(index))
            route_distance += routing.GetArcCostForVehicle(
                previous_index, index, vehicle_id)
        plan_output += '{} \n'.format(manager.IndexToNode(index))
        plan_output += 'Distância da Rota: {} metros \n'.format(route_distance)
# A função print imprime a resolução do problema.
        print(plan_output)
        max_route_distance = max(route_distance, max_route_distance)
        print('Rota com maior distância: {} metros'.format(max_route_distance))

# Cria a função principal para resolução do problema
def main():

    # Instância os dados do problema.
    data = create_data_model()

    # Cria um índice gerenciador de rotas.
    manager = pywrapcp.RoutingIndexManager(len(data['distance_matrix']),
                                           data['num_vehicles'], data['depot'])

    # Cria um modelo de roteamento.
    routing = pywrapcp.RoutingModel(manager)

```

```

# Cria e transmite a distância entre os locais ao solucionador.
def distance_callback(from_index, to_index):
    """Retorna a distância entre dois nós."""
# Converte a variável do Índice para uma matrix de distância.
    from_node = manager.IndexToNode(from_index)
    to_node = manager.IndexToNode(to_index)
    return data['distance_matrix'][from_node][to_node]

transit_callback_index =
routing.RegisterTransitCallback(distance_callback)

# Define o custo de cada arco.
routing.SetArcCostEvaluatorOfAllVehicles(transit_callback_index)

# O campo transit_callback_index adiciona restrições de distância máxima
aos veículos.
dimension_name = 'Distance'
routing.AddDimension(
    transit_callback_index,
    0,
    40000, # Variável distância máxima para um veículo
    True, # Starta em zero
    dimension_name)
distance_dimension = routing.GetDimensionOrDie(dimension_name)
distance_dimension.SetGlobalSpanCostCoefficient(100)

# Configura a heurística de solução (Nesta solução, optou-se pela
heurística default).
search_parameters = pywrapcp.DefaultRoutingSearchParameters()
search_parameters.first_solution_strategy = (
    routing_enums_pb2.FirstSolutionStrategy.PATH_CHEAPEST_ARC)

# Soluciona o problema.
solution = routing.SolveWithParameters(search_parameters)

```

```
# Imprime a solução para o console.  
if solution:  
    print_solution(data, manager, routing, solution)  
if __name__ == '__main__':  
    main()
```

APÊNDICE B — SCRIPT EM R PARA SOLUÇÃO DO PCV

Aplicação do problema caixeiro viajante na distribuição de urnas eleitorais

Input dos locais a serem otimizados

ADDRESSES = c(

"752, RUA LOUCENÇO ANGELO BUZATO, SANTA TEREZINHA,
ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"998, RUA DOMINGOS SCUCATO, JARDIM MONTE SANTO, ALMIRANTE
TAMANDARÉ",

"139, RUA JOSE CARLOS COLODEL, CENTRO, ALMIRANTE
TAMANDARÉ",

"1172, AVENIDA EMILIO JOHNSON, CENTRO, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"1133, RUA JOSÉ REAL PRADO, SÃO FELIPE, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"1, RUA PEDRO POLAK, JARDIM PARAISO, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"1799, RUA PEDRO TEIXEIRA ALVES, MATO DENTRO, ALMIRANTE
TAMANDARÉ",

"435, RUA SAO BENTO, JARDIM MONTE SANTO, ALMIRANTE
TAMANDARÉ",

"91, RUA PLACIDO GOMES, BONFIM, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"5780, AVENIDA FRANCISCO KRUGER, CACHOEIRA, ALMIRANTE
TAMANDARÉ",

"333, RUA JOÃO ANTUNES DE LARA, CACHOEIRA, ALMIRANTE
TAMANDARÉ",

"904, RUA PROFESSOR ANTONIO RODRIGUES DIAS, BONFIM,
ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"499, RUA CAMPO LARGO, JARDIM ANITA GARIBALDI, ALMIRANTE
TAMANDARÉ",

"1097, RUA NOSSA SENHORA DO ROCIO, PARQUE SÃO JORGE,
ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"2800, AVENIDA PROFESSOR ALBERTO PIEKARZ, COLÔNIA ANTÔNIO
PRADO, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"227, RUA INDAIAL, JARDIM APUCARANA, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"249, RUA AUSTRIA, JARDIM GRAZIELE, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"428, RUA ALFREDO VALENTE, VILA AJAMBI, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"133, RUA ESTADOS UNIDOS, JARDIM GINESTE, TAMANDARÉ",

"360, RUA ANTENOR MANFRON, CAPIVARA DOS MANFRON, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"4230, AVENIDA VEREADOR WADISLAU BUGALSKI, LAMENHA GRANDE, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"155, RUA DAS AMOREIRAS, COLÔNIA SANTA GABRIELA, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"7530, RUA ANTONIO EDUARDO TREVISAN, MARMELEIRO, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"95, RUA CESAR AUGUSTO FERRI, TANGUÁ, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"12350, RODOVIA DOS MINÉRIOS, TRANQUEIRA, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"35, RUA NILO CROPOLATO MATIAS, AREIAS, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"419, RUA PLÁCIDO GOMES, CAMPO GRANDE, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"4033, RUA FRANCISCO DE LARA VAZ, MORRO AZUL, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"126, RUA CEL JOÃO CANDIDO DE OLIVEIRA, CENTRO, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"51, RUA JOÃO SCHEREDER, JARDIM NOVOS HORIZONTES, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"388, RUA RIO NEGRO, LAMENHA GRANDE, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"512, RUA LEONARDO MURASKI, JARDIM PARAISO, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"300, RUA ROBERTO DRECHLER, TANGUÁ, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"82, RUA ANTONIO DE OLIVEIRA CRUZ, JARDIM SÃO JOÃO BATISTA, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"893, RUA BERTOLINA KENDRIK DE OLIVEIRA, VILA SANTA TEREZINHA, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"28, RUA FREDERICO DOMINGOS GULIN, TRANQUEIRA, ALMIRANTE TAMANDARÉ",

"350, RUA PIRAQUARA, JARDIM ROMA, ALMIRANTE TAMANDARÉ"

)

Carrega bibliotecas a serem utilizadas na ferramenta

library(dplyr)

library(purrr)

library(ggmap)

library(gmapsdistance)

library(TSP)

Inserir a chave de API do Google Cloud Plataform

api_key = Sys.getenv("AlzaSyCtDzfPBIKrWY1_ZWsg3e1mdetEmU4gR4M")

#

register_google(key = "AlzaSyCtDzfPBIKrWY1_ZWsg3e1mdetEmU4gR4M")

set.api.key("AlzaSyCtDzfPBIKrWY1_ZWsg3e1mdetEmU4gR4M")

Armazena os endereços fornecidos pela API do Google

geocode_df <- function(address) {

 reply <- geocode(address, output = "all")\$results[[1]]

 tibble(

 address = reply\$formatted_address,

 lon = reply\$geometry\$location\$lng,

 lat = reply\$geometry\$location\$lat

)

}

addresses <- ADDRESSES %>%

 map_dfr(geocode_df) %>%

 mutate(latlon = sprintf("%f+%f", lat, lon)) %>%

 mutate(label = LETTERS[1:nrow(.)]) %>%

 select(label, everything())

```

# Obtem dados para a matriz de distância com a API distance matrix do Google
#

distances <- gmapsdistance(origin = addresses$latlon,
                           destination = addresses$latlon,
                           combinations = "all",
                           mode = "driving")$Distance[, -1]

# Muda a métrica para quilômetros #
distances <- as.matrix(distances) / 1000
colnames(distances) <- addresses$label
rownames(distances) <- addresses$label

# Converte os dados para a matriz de distância#
distances <- as.dist(distances)

# Realiza a otimização com a biblioteca de Travelling Sales Person (Caixeiro
Viajante)#
tsp <- TSP(distances)

methods <- c(
  "nearest_insertion",
  "farthest_insertion",
  "cheapest_insertion",
  "arbitrary_insertion",
  "nn",
  "repetitive_nn",
  "two_opt"
)

tours <- methods %>% map(function(method) {
  solve_TSP(tsp, method)
})

```

```

tour <- solve_TSP(tsp)

# Ordem dos locais da rota #
tour_order <- as.integer(tour)
#
# Organiza os endereços #
addresses <- addresses[tour_order,]

# Constrói a rota a ser utilizada e posteriormente plotada no mapa #
route <- lapply(seq(nrow(addresses) - 1), function(n) {
  print(n)
  route(addresses$latlon[n], addresses$latlon[n+1], structure = "route") %>%
    mutate(section = n)
})

route <- route %>% bind_rows()

# Plota no mapa a rota otimizada #

map <- get_map(location = c(lon = -49.281696, lat = -25.319371), zoom = 12,
maptype = "roadmap")

ggmap(map, extent = "device") +
  geom_path(data = route, aes(x = lon, y = lat), colour = "yellow", size = 1.2,
alpha = 1) +
  geom_point(data = addresses, aes(x = lon, y = lat), color = "blue", size = 4,
alpha = 0.75) +
  labs(x = "", y = "")

```

ANEXO C — RELATÓRIOS DE RESPOSTA E POPULAÇÃO MS-EXCEL

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Respostas I

Planilha: [Solução em Excel.xlsx]Aplicação Excel

Relatório Criado: 16/11/2019 15:30:34

Resultado: O Solver não pode aperfeiçoar a solução atual. Todas as Restrições foram satisfeitas.

Mecanismo do Solver

Mecanismo: Evolutionary

Tempo da Solução: 131,172 Segundos.

Iterações: 0 Subproblemas: 21013

Opções do Solver

Tempo Máx. Ilimitado, Iterações Ilimitado, Precision 0,000001, Usar Escala Automática

Convergência 0,0001, Tamanho da População 100, Propagação Aleatória 0, Taxa de Mutação 0,075, Tempo sem Aperfeiçoamento 30 s, Limites Necessários

Subproblemas Máx. Ilimitado, Soluç. Máx. Núm. Inteiro Ilimitado, Tolerância de Número Inteiro 1%, Assumir Não Negativo

Célula do Objetivo (Min.)

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final
\$F\$42	Distância Total Distância	0	87,354

Células Variáveis

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro	Rota
\$E\$5	Zona Eleitoral	0	23	TudoDif	1430-FACOP - FUNDACAO DO ASSEIO E CONSERVACAO DO PARANA
\$E\$6	Zona Eleitoral	0	32	TudoDif	1546-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA CLAIR DO ROCIO SANDRI
\$E\$7	Zona Eleitoral	0	21	TudoDif	1309-ESCOLA COLÔNIA GABRIELA
\$E\$8	Zona Eleitoral	0	20	TudoDif	1295-ESCOLA MUNICIPAL VEREADOR VICENTE KOCHANY
\$E\$9	Zona Eleitoral	0	30	TudoDif	1520-COLEGIO ESTADUAL TANCREDO NEVES
\$E\$10	Zona Eleitoral	0	26	TudoDif	1481-IGREJA CATÓLICA SÃO SEBASTIÃO
\$E\$11	Zona Eleitoral	0	11	TudoDif	1139-ESCOLA MUNICIPAL ALEXANDRE PERUSSI
\$E\$12	Zona Eleitoral	0	8	TudoDif	1104-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA MIRTA NAVES PRODOCIMO
\$E\$13	Zona Eleitoral	0	13	TudoDif	1155-ESCOLA ESTADUAL PAPA JOAO PAULO I
\$E\$14	Zona Eleitoral	0	17	TudoDif	1198-ESCOLA ESTADUAL VILA AJAMBI
\$E\$15	Zona Eleitoral	0	36	TudoDif	1597-ESCOLA MUNICIPAL ARCO IRIS-CAIC
\$E\$16	Zona Eleitoral	0	9	TudoDif	1112-COLÉGIO ESTADUAL EDMAR WRIGTH
\$E\$17	Zona Eleitoral	0	10	TudoDif	1120-ESCOLA ESTADUAL ROSA FREDERICA JOHNSON
\$E\$18	Zona Eleitoral	0	18	TudoDif	1201-COLEGIO ESTADUAL MARIA LOPES DE PAULA
\$E\$19	Zona Eleitoral	0	16	TudoDif	1180-ESCOLA ESTADUAL JARDIM GRAZIELE
\$E\$20	Zona Eleitoral	0	15	TudoDif	1171-ESCOLA ESTADUAL JARDIM APUCARANA
\$E\$21	Zona Eleitoral	0	14	TudoDif	1163-ESCOLA MUNICIPAL ANTONIO PRADO
\$E\$22	Zona Eleitoral	0	29	TudoDif	1511-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSOR ANTONIO RODRIGUES DIAS
\$E\$23	Zona Eleitoral	0	12	TudoDif	1147-ESCOLA MUNICIPAL JARDIM ROMA
\$E\$24	Zona Eleitoral	0	34	TudoDif	1570-COLEGIO ESTADUAL AMBROSIO BINI
\$E\$25	Zona Eleitoral	0	5	TudoDif	1074-ESCOLA ESTADUAL JARDIM PARAISO
\$E\$26	Zona Eleitoral	0	31	TudoDif	1538-ESC. MUN. PREF. EURIPEDES DE SIQUEIRA
\$E\$27	Zona Eleitoral	0	2	TudoDif	1023-ESCOLA MUNICIPAL ALMIRANTE TAMANDARE
\$E\$28	Zona Eleitoral	0	28	TudoDif	1503-ESCOLA MUNICIPAL ALVARENGA PEIXOTO
\$E\$29	Zona Eleitoral	0	3	TudoDif	1031-ESCOLA ESTADUAL AYRTON SENNA DA SILVA
\$E\$30	Zona Eleitoral	0	4	TudoDif	1040-ESCOLA MUNICIPAL SÃO FRANCISCO
\$E\$31	Zona Eleitoral	0	7	TudoDif	1090-ESCOLA MUNICIPAL LOURENCO ANGELO BUZATTO
\$E\$32	Zona Eleitoral	0	1	TudoDif	1015-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA JACI REAL PRADO DE OLIVEIRA
\$E\$33	Zona Eleitoral	0	6	TudoDif	1082-ESCOLA MUNICIPAL JOAO BATISTA DE SIQUEIRA
\$E\$34	Zona Eleitoral	0	24	TudoDif	1457-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA ANGELA SANDRI TEIXEIRA
\$E\$35	Zona Eleitoral	0	35	TudoDif	1589-ESCOLA MUNICIPAL BORTOLO LOVATO
\$E\$36	Zona Eleitoral	0	33	TudoDif	1562-ESCOLA RURAL MUNICIPAL LUIZ EDUARDO CUMIM
\$E\$37	Zona Eleitoral	0	25	TudoDif	1473-ESCOLA MUNICIPAL CLARA NADIR BUZATO
\$E\$38	Zona Eleitoral	0	19	TudoDif	1252-ESCOLA RURAL MUNICIPAL MARIA CAVASSIM MANFRON
\$E\$39	Zona Eleitoral	0	27	TudoDif	1490-ESCOLA RURAL MUNICIPAL JOÃO JOHNSON
\$E\$40	Zona Eleitoral	0	22	TudoDif	1317-ESCOLA RURAL MUNICIPAL OSVALDO AVELINO TREVISAN

Restrições

	NENHUM
\$E\$5:\$E\$40=TudoDif	

Microsoft Excel 16.0 Relatório de Respostas II

Planilha: [Solução em Excel.xlsx]Aplicação Excel

Relatório Criado: 16/11/2019 15:47:38

Resultado: O Solver não pode aperfeiçoar a solução atual. Todas as Restrições foram satisfeitas.

Mecanismo do Solver

Mecanismo: Evolutionary

Tempo da Solução: 70,156 Segundos.

Iterações: 0 Subproblemas: 10838

Opções do Solver

Tempo Máx. Ilimitado, Iterações Ilimitado, Precision 0,000001, Usar Escala Automática

Convergência 0,0001, Tamanho da População 200, Propagação Aleatória 0, Taxa de Mutação 0,075, Tempo sem Aperfeiçoamento 60 s, Limites Necessários

Subproblemas Máx. Ilimitado, Soluç. Máx. Núm. Inteiro Ilimitado, Tolerância de Número Inteiro 1%, Assumir Não Negativo

Célula do Objetivo (Mín.)

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final
\$F\$42	Distância Total Distância	0	92,204

Células Variáveis

Célula	Nome	Valor Original	Valor Final	Número Inteiro	Rota
\$E\$5	Zona Eleitoral	23	23	TudoDif	1430-FACOP - FUNDACAO DO ASSEIO E CONSERVACAO DO PARANA
\$E\$6	Zona Eleitoral	32	32	TudoDif	1546-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA CLAIR DO ROCIO SANDRI
\$E\$7	Zona Eleitoral	21	21	TudoDif	1309-ESCOLA COLÔNIA GABRIELA
\$E\$8	Zona Eleitoral	20	30	TudoDif	1520-COLEGIO ESTADUAL TANCREDO NEVES
\$E\$9	Zona Eleitoral	30	20	TudoDif	1295-ESCOLA MUNICIPAL VEREADOR VICENTE KOCHANY
\$E\$10	Zona Eleitoral	26	13	TudoDif	1155-ESCOLA ESTADUAL PAPA JOAO PAULO I
\$E\$11	Zona Eleitoral	11	1	TudoDif	1015-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA JACI REAL PRADO DE OLIVEIRA
\$E\$12	Zona Eleitoral	8	6	TudoDif	1082-ESCOLA MUNICIPAL JOAO BATISTA DE SIQUEIRA
\$E\$13	Zona Eleitoral	13	24	TudoDif	1457-ESCOLA ESTADUAL PROFESSORA ANGELA SANDRI TEIXEIRA
\$E\$14	Zona Eleitoral	17	35	TudoDif	1589-ESCOLA MUNICIPAL BORTOLO LOVATO
\$E\$15	Zona Eleitoral	36	25	TudoDif	1473-ESCOLA MUNICIPAL CLARA NADIR BUZATO
\$E\$16	Zona Eleitoral	9	33	TudoDif	1562-ESCOLA RURAL MUNICIPAL LUIZ EDUARDO CUMIM
\$E\$17	Zona Eleitoral	10	19	TudoDif	1252-ESCOLA RURAL MUNICIPAL MARIA CAVASSIM MANFRON
\$E\$18	Zona Eleitoral	18	27	TudoDif	1490-ESCOLA RURAL MUNICIPAL JOÃO JOHNSON
\$E\$19	Zona Eleitoral	16	31	TudoDif	1538-ESC. MUN. PREF. EURIPEDES DE SIQUEIRA
\$E\$20	Zona Eleitoral	15	5	TudoDif	1074-ESCOLA ESTADUAL JARDIM PARAISO
\$E\$21	Zona Eleitoral	14	2	TudoDif	1023-ESCOLA MUNICIPAL ALMIRANTE TAMANDARE
\$E\$22	Zona Eleitoral	29	34	TudoDif	1570-COLEGIO ESTADUAL AMBROSIO BINI
\$E\$23	Zona Eleitoral	12	3	TudoDif	1031-ESCOLA ESTADUAL AYRTON SENNA DA SILVA
\$E\$24	Zona Eleitoral	34	28	TudoDif	1503-ESCOLA MUNICIPAL ALVARENGA PEIXOTO
\$E\$25	Zona Eleitoral	5	4	TudoDif	1040-ESCOLA MUNICIPAL SÃO FRANCISCO
\$E\$26	Zona Eleitoral	31	29	TudoDif	1511-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSOR ANTONIO RODRIGUES DIAS
\$E\$27	Zona Eleitoral	2	14	TudoDif	1163-ESCOLA MUNICIPAL ANTONIO PRADO
\$E\$28	Zona Eleitoral	28	15	TudoDif	1171-ESCOLA ESTADUAL JARDIM APUCARANA
\$E\$29	Zona Eleitoral	3	16	TudoDif	1180-ESCOLA ESTADUAL JARDIM GRAZIELE
\$E\$30	Zona Eleitoral	4	18	TudoDif	1201-COLEGIO ESTADUAL MARIA LOPES DE PAULA
\$E\$31	Zona Eleitoral	7	9	TudoDif	1112-COLÉGIO ESTADUAL EDMAR WRIGTH
\$E\$32	Zona Eleitoral	1	10	TudoDif	1120-ESCOLA ESTADUAL ROSA FREDERICA JOHNSON
\$E\$33	Zona Eleitoral	6	11	TudoDif	1139-ESCOLA MUNICIPAL ALEXANDRE PERUSSI
\$E\$34	Zona Eleitoral	24	26	TudoDif	1481-IGREJA CATÓLICA SÃO SEBASTIÃO
\$E\$35	Zona Eleitoral	35	8	TudoDif	1104-ESCOLA MUNICIPAL PROFESSORA MIRTA NAVES PRODOCIMO
\$E\$36	Zona Eleitoral	33	12	TudoDif	1147-ESCOLA MUNICIPAL JARDIM ROMA
\$E\$37	Zona Eleitoral	25	36	TudoDif	1597-ESCOLA MUNICIPAL ARCO IRIS-CAIC
\$E\$38	Zona Eleitoral	19	17	TudoDif	1198-ESCOLA ESTADUAL VILA AJAMBI
\$E\$39	Zona Eleitoral	27	7	TudoDif	1090-ESCOLA MUNICIPAL LOURENCO ANGELO BUZATTO
\$E\$40	Zona Eleitoral	22	22	TudoDif	1317-ESCOLA RURAL MUNICIPAL OSVALDO AVELINO TREVISAN

Restrições

	NENHUM
\$E\$5:\$E\$40=TudoDif	

Microsoft Excel 16.0 Relatório de População I
 Planilha: [Solução em Excel].xlsx]Aplicação Excel
 Relatório Criado: 16/11/2019 15:30:35

Células Variáveis

Célula	Nome	Melhor Valor	Média Valor	Padrão Desvio	Máximo Valor	Mínimo Valor
SES5	Zona Eleitoral	23	22,64	2,532695294	23	5
SES6	Zona Eleitoral	32	31,97	0,459578199	34	28
SES7	Zona Eleitoral	21	20,72	3,336604456	36	3
SES8	Zona Eleitoral	20	19,66	3,201073052	35	3
SES9	Zona Eleitoral	30	29,6	2,888500362	34	4
SES10	Zona Eleitoral	26	25,59	3,061969393	30	2
SES11	Zona Eleitoral	11	11,2	1,734964268	26	5
SES12	Zona Eleitoral	8	8,63	3,520947416	33	8
SES13	Zona Eleitoral	13	13,35	2,606809265	32	5
SES14	Zona Eleitoral	17	17,34	3,36716168	36	3
SES15	Zona Eleitoral	36	34,11	6,997683599	36	4
SES16	Zona Eleitoral	9	10,2	4,845074558	36	9
SES17	Zona Eleitoral	10	10,72	3,808761829	36	6
SES18	Zona Eleitoral	18	17,86	1,1460957	22	9
SES19	Zona Eleitoral	16	15,77	1,187944494	16	8
SES20	Zona Eleitoral	15	15	1,399855692	25	8
SES21	Zona Eleitoral	14	14,18	2,133806766	30	9
SES22	Zona Eleitoral	29	28,14	3,71461759	30	9
SES23	Zona Eleitoral	12	5,22	5,273490018	36	3
SES24	Zona Eleitoral	34	4,41	5,451521889	34	3
SES25	Zona Eleitoral	5	27,12	4,376890645	32	3
SES26	Zona Eleitoral	31	30,44	3,373455501	32	8
SES27	Zona Eleitoral	2	5,71	3,235831587	23	2
SES28	Zona Eleitoral	28	3,01	4,999989899	31	2
SES29	Zona Eleitoral	3	33,27	4,419550231	34	3
SES30	Zona Eleitoral	4	3,86	5,515854101	34	1
SES31	Zona Eleitoral	7	8,48	2,664696242	12	1
SES32	Zona Eleitoral	1	8,27	5,266350201	29	1
SES33	Zona Eleitoral	6	5,97	0,771395168	9	1
SES34	Zona Eleitoral	24	24,2	1,56347192	35	22
SES35	Zona Eleitoral	35	34,16	4,182020197	35	10
SES36	Zona Eleitoral	33	28,91	4,640826729	35	6
SES37	Zona Eleitoral	25	28,57	4,738100459	33	6
SES38	Zona Eleitoral	19	18,88	1,2	19	7
SES39	Zona Eleitoral	27	26,87	1,3	27	14
SES40	Zona Eleitoral	22	21,97	1,78916492	33	8

Restrições
 NENHUM

Microsoft Excel 16.0 Relatório de População II
 Planilha: [Solução em Excel.xlsx]Aplicação Excel
 Relatório Criado: 16/11/2019 15:47:39

Células Variáveis

Célula	Nome	Melhor Valor	Média Valor	Padrão Desvio	Máximo Valor	Mínimo Valor
\$E\$5	Zona Eleitoral	23	26,63	3,833612254	34	1
\$E\$6	Zona Eleitoral	32	14,78	8,727683674	35	2
\$E\$7	Zona Eleitoral	21	10,615	11,17187671	35	1
\$E\$8	Zona Eleitoral	30	16,6	13,49930205	34	1
\$E\$9	Zona Eleitoral	20	12,135	11,80736398	35	1
\$E\$10	Zona Eleitoral	13	22,315	4,890332479	36	2
\$E\$11	Zona Eleitoral	1	25,345	8,217274059	35	1
\$E\$12	Zona Eleitoral	6	28,87	8,372790341	35	1
\$E\$13	Zona Eleitoral	24	30,775	4,584699812	35	13
\$E\$14	Zona Eleitoral	35	24,64	7,864454733	35	1
\$E\$15	Zona Eleitoral	25	25,385	7,689108332	35	2
\$E\$16	Zona Eleitoral	33	11,2	8,404951879	34	1
\$E\$17	Zona Eleitoral	19	15,065	12,47915951	35	1
\$E\$18	Zona Eleitoral	27	10,765	12,17501251	35	1
\$E\$19	Zona Eleitoral	31	13,1	12,47066911	34	1
\$E\$20	Zona Eleitoral	5	20,07	12,28943657	36	1
\$E\$21	Zona Eleitoral	2	13,43	7,746946229	36	1
\$E\$22	Zona Eleitoral	34	16,76	3,756722617	34	4
\$E\$23	Zona Eleitoral	3	14,635	3,671399032	29	1
\$E\$24	Zona Eleitoral	28	15,835	7,877694163	36	1
\$E\$25	Zona Eleitoral	4	11,99	11,41804531	34	1
\$E\$26	Zona Eleitoral	29	18,015	11,59079409	34	1
\$E\$27	Zona Eleitoral	14	20,535	2,821093377	34	7
\$E\$28	Zona Eleitoral	15	20,77	2,363265775	29	1
\$E\$29	Zona Eleitoral	16	31,315	3,581888416	32	2
\$E\$30	Zona Eleitoral	18	22,55	2,959950427	30	1
\$E\$31	Zona Eleitoral	9	29,14	3,420364669	33	9
\$E\$32	Zona Eleitoral	10	16,01	7,229886326	32	8
\$E\$33	Zona Eleitoral	11	9,01	4,733065555	36	3
\$E\$34	Zona Eleitoral	26	20,675	7,817605116	36	4
\$E\$35	Zona Eleitoral	8	13,315	6,655618777	36	1
\$E\$36	Zona Eleitoral	12	16,825	7,464110108	36	3
\$E\$37	Zona Eleitoral	36	25,03	11,41756999	36	1
\$E\$38	Zona Eleitoral	17	16,205	9,670084159	36	9
\$E\$39	Zona Eleitoral	7	12,01	6,625662004	36	6
\$E\$40	Zona Eleitoral	22	13,655	4,748549104	36	1

Restrições
 NENHUM